

CARLOS SHIGEAKY WEKY SILVA

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DECORRENTE DO USO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS
DO SISTEMA DE LIMPEZA DE GASES DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA A
CARVÃO VEGETAL

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586a
2007

Silva, Carlos Shigeaky Weky, 1979-

Avaliação ambiental decorrente do uso agrícola de
resíduos do sistema de limpeza de gases de uma indús-
tria siderúrgica a carvão vegetal / Carlos Shigeaky Weky
Silva. – Viçosa, MG, 2007.

x, 98f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Caetano Marciano de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 91-98.

1. Pó de balão - Resíduos industriais. 2. Lama -
Resíduos industriais. 3. Ferro-gusa - Aspectos ambientais.
4. Resíduos ambientais. 5. Água - Qualidade. 6. Solo -
Qualidade. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.451

CARLOS SHIGEAKY WEKY SILVA

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DECORRENTE DO USO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS
DO SISTEMA DE LIMPEZA DE GASES DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA A
CARVÃO VEGETAL

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 2 de agosto de 2007

Prof. Júlio César Lima Neves
(Co-orientador)

Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes
(Co-orientador)

Prof. Vanusa Maria Feliciano Jacomino

Prof. Luiz Fernando Andrade de Castro

Prof. Caetano Marciano de Souza
(Orientador)

Aos meus pais, Antônio e Lucecília.

Aos meus irmãos e sobrinhos.

À minha, sempre companheira, Flávia.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Caetano Marciano de Souza, pela orientação, pela compreensão e amizade durante a realização do curso.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Raphael Bragança Alves Fernandes, pela disposição em ouvir-me e criticar-me positivamente na realização deste trabalho.

Aos professores Luiz Fernando Andrade de Castro e Vanusa Maria Feliciano Jacomino, pela contribuição com críticas e sugestões.

Aos amigos Márcio Lima e Bruno Lima. Ainda a todos os amigos feitos na Fazenda Araras pela valiosa colaboração neste trabalho.

À METALSIDER pelo apoio e créditos depositados a mim.

Aos amigos Vinicius (cabeça), Mábio, Victor, Rodrigo (bodão), Rafael (Pará), Thiago Lívio, Aroldo, Marcos (cabis), Júlio (mozinho), Toni (montanha), Reginaldo, Reinaldo, Rodrigo, enfim, a todos aqueles pelo valioso convívio, formal ou informal, sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Carlos Shigeaky Weky Silva, filho de Antônio Deodato da Silva e Lucecília Marques da Silva, Nasceu no município de Arapiraca, Estado de Alagoas, no dia 18 de maio de 1979.

Em junho de 2004, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Em Agosto de 2004, iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia na UFV, concentrando os estudos na área de Manejo e Conservação do Solo e da Água – Controle da Poluição na Agricultura.

Desde abril de 2005 é Servidor Público Federal no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Solos	5
2.2. Resíduos sólidos industriais	6
2.2.1. Aspectos gerais	6
2.2.2. Conceito e classificação dos resíduos sólidos	7
2.2.3. Processo siderúrgico e geração dos resíduos pó de balão e lama	8
2.2.4. Características Físicas	15
2.2.5. pH	16
2.2.6. Metais Pesados	16
2.2.7. Matéria orgânica	18
2.2.7. Fenóis	19
2.1.8. A aplicação dos resíduos gerados no sistema de limpeza de gases no solo	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Localização e caracterização da área experimental	22

3.2. Caracterização do pó de balão e lama utilizados no experimento	25
3.3. Dimensionamento, instalação e condução do experimento em campo	31
3.4. Metodologias analíticas para terminação das características no solo	35
3.5. Metodologias analíticas para terminação das características na água superficial e subterrânea	36
3.6. Chumbo (Pb) no solo	36
3.7. Análise estatísticas dos dados obtidos	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Monitoramento ambiental	39
4.1.1. Águas subterrâneas	39
4.1.1.1. Área experimental de Curvelo-MG	39
4.1.1.2. Área experimental de Três Marias-MG	43
4.1.2. Águas superficiais	48
4.1.2.1. Área experimental de Curvelo-MG	48
4.1.2.2. Área experimental de Três Marias-MG	51
4.1.3. Solos	52
4.1.3.1. Macronutrientes	59
4.1.3.1.1. Três Marias-MG	59
4.1.3.1.2. Curvelo-MG	59
4.1.3.2. Metais pesados e micronutrientes	60
4.1.3.2.1. Três Marias-MG	61
4.1.3.2.2. Curvelo-MG	61
4.2. Chumbo (Pb) no solo	87
5. RESUMO E CONCLUSÕES	89
6. BIBLIOGRAFIA	91

RESUMO

SILVA, Carlos Shigeaky Weky, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2007.
Avaliação ambiental decorrente do uso agrícola de resíduos do sistema de limpeza de gases de uma indústria siderúrgica a carvão vegetal. Orientador: Caetano Marciano de Souza. Co-Orientadores: Julio César Lima Neves e Raphael Bragança Alves Fernandes.

É cada vez mais necessário o desenvolvimento de práticas adequadas para a destinação de resíduos, visto que sua produção tem aumentado em função do aumento populacional e do avanço tecnológico e industrial. Em particular, a geração de resíduos pelo setor siderúrgico é amplamente estudada, haja vista a relevância qualitativa e quantitativa desta atividade. Especificamente no processo de produção de ferro-gusa o gás do alto-forno arrasta consigo material fino e particulado que, ao passar pelo sistema de limpeza de gases, resulta na produção de resíduo denominado “pó de balão”, se gerado em sistema de limpeza a seco, ou “lama”, se gerado em sistema de limpeza com emprego de água. Estes resíduos foram aplicados no solo, em áreas de plantio comercial de eucalipto, e os efeitos da aplicação sobre características do solo e água foram avaliados. Foram instaladas simultaneamente duas áreas experimentais (uma em Curvelo-MG, km 401 da BR 040, e a outra no município de Três Marias-MG, quinze quilômetros distante do distrito de

Andrequicé-MG) e conduzidas no período de novembro de 2004 a janeiro de 2006. As áreas são semelhantes nos atributos físicos, químicos, morfológicos e climáticos, variando a textura do solo (argiloso e arenoso, respectivamente). O monitoramento do solo e da água superficial e subterrânea, sob influência da aplicação dos resíduos, foi efetuado com 13 amostragens, a primeira de caracterização e as outras mensalmente após a aplicação dos resíduos. A água superficial foi monitorada com amostragens à jusante e à montante do local de aplicação em cursos adjacentes às áreas dos tratamentos (Córrego das Pedras em Curvelo-MG e Córrego das Éguas, em Três Marias-MG); a água subterrânea foi monitorada em amostragens em piezômetros construídos um em cota inferior e outro em cota superior relativamente à área de aplicação, tomando-se como referência às linhas de fluxo de escoamento superficial do terreno; e foram analisados os parâmetros DQO, Zinco, pH, Cromo Trivalente, Cromo Hexavalente, Cromo total, Fenóis Totais, Cianetos, Chumbo e Ferro. O monitoramento do solo, em cada área experimental, foi feito em 16 parcelas, de 1.000 m² cada uma, visando minimizar o efeito da heterogeneidade natural do solo sobre os resultados, no delineamento inteiramente casualizado com parcelas pareadas. As amostragens de solo foram realizadas com a utilização de trados, em local aleatório, no centro de cada parcela, sendo coletadas três amostras simples em cada parcela nas profundidades de 0 a 30 e de 30 a 60 cm para determinação dos teores disponíveis no solo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, chumbo, manganês, cobre, cádmio, níquel, mercúrio e fenóis totais. A análise estatística dos dados foi feita pela definição de três contrastes a serem comparados dentro de cada local, profundidade e época de amostragem (C_1 – a diferença entre as testemunhas-; C_2 – diferença entre a aplicação de pó de balão e sua respectiva testemunha-; C_3 – diferença entre a aplicação de lama e sua respectiva testemunha. A aplicação de resíduos não resultou em alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas e nem nos teores dos elementos no solo, inclusive de metais pesados, estando estes em quantidades consideradas como de ocorrência natural nos solos sendo que Níquel, Cádmio, Cromo e Fenóis Totais não foram detectados nos solos em nenhuma coleta e profundidade.

ABSTRACT

SILVA, Carlos Shigeaky Weky, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2007.
Enviromental evaluation resulting from the agriculture use of residues from a gas cleaning system of a siderurgic industry base on coal. Adviser: Caetano Marciano de Souza. Co-Advisers: Julio César Lima Neves and Raphael Bragança Alves Fernandes.

The development of suitable techniques to dispose residues has become greater since its production has increased due to the population growth and the industrial and technological progress. Particularly, the generation of residues by the siderurgic industry has been largely studied on account of the qualitative and quantitative relevance of such activity. Specifically in the process of pig-iron production, the gas from the blast furnace carries with it fine particulate material that, during its passage through the gas cleaning system, bring about the production of a residue called “pó de balão”, if generated by the dry cleaning system, or “lama”, if generated by the cleaning system based on water. These residues were placed on soil in areas of commercial crop of eucalyptus and the effects of such on the characteristics of soil and water were evaluated. The research was carried out from November 2004 to January 2006 in two different experimental areas which were simultaneously settled (one located in Curvelo City – Minas Gerais State, Brazil, km 401 on the highway BR 040, and the other one in Três Marias County – Minas Gerais State, Brazil, 15 km away from Andrequicé Town – Minas Gerais State, Brazil). Both areas have

the similar physical, chemical, morphological and weather aspects, varying only the soil texture (clayey and sandy, respectively). Thirteen samplings were used to evaluate the soil and both superficial and underground water, under the influence of the applied residues. The first sampling was used for characterization and the other twelve were monthly taken after the residues were placed. Superficial water was evaluated by using downstream and upstream samplings at the place where the residues were applied from courses of water near the treated areas (Córrego das Pedras in Curvelo – MG and Córrego das Éguas in Três Marias – MG); underground water was evaluated by using samplings in piezometer set at a inferior height and the other at a superior height near the treated area, taking as the reference point the superficial outflow lines of the ground; the DQO parameters, zinc, pH, trivalent chromium, hexavalent chromium, total chromium, total phenols, cyanides, lead and iron were also analyzed. The soil evaluation in each experimental area was done by using 16 plots of 1,000m² each, trying by this way to minimize the effect of natural heterogeneity of the soil on the results on the random delimitation with paired plots. The soils samplings were done by using augers, in random places, in the center of each plot, being collected three simple samples in each plot at deepness varying from 0 to 30cm and from 30 to 60cm in order to determine the percentage of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, zinc, iron, lead, manganese, copper, cadmium, nickel, mercury and total phenols available in the soil. The statistical analysis of data was done by definition of three contrasts which would be compared within each place, deepness and time of sampling (C_1 – difference among the witnesses; C_2 – difference between the application of “pó de balão” and its respectively witness; C_3 – difference between lama and its respectively witness. The application of residues didn’t show any change on the quality of both superficial and underground water, neither on the percentage of elements in the soil, including heavy metals, being these in levels considered to be of natural occurrence in the soils. Nickel, cadmium, chromium and total phenols weren’t detected in the soil in any collection or at any deepness.

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos gerados pela atividade humana merece cada vez mais atenção de especialistas e do poder público em função do risco ambiental associado.

A produção de resíduos vem aumentando com o avanço tecnológico e industrial. Este aumento pode ser observado em todos os países do mundo, independentemente do seu grau de desenvolvimento. Conseqüentemente, se torna cada vez mais necessário desenvolver e implementar tecnologias para que se possa destinar resíduos de maneira adequada, qualquer que seja a sua natureza.

Nesse contexto, a geração de resíduos sólidos do setor siderúrgico é uma questão já amplamente estudada, haja vista a relevância qualitativa e quantitativa desta atividade para o Brasil e, em especial, para o estado de Minas Gerais.

Especificamente no processo de produção de ferro-gusa, são gerados vários resíduos sólidos. Para exemplificar, basta citar que, em Minas Gerais, no ano de 2002, diariamente, eram produzidas 3.800 toneladas de resíduos sólidos somente nas indústrias independentes de ferro-gusa (PROJETO MINAS AMBIENTE, 2002). Um dos resíduos produzidos nesse processo é o material gerado na etapa de limpeza do sistema de gases do alto-forno de uma indústria siderúrgica.

O gás proveniente da atividade de um alto-forno arrasta consigo material fino e particulado que, ao passar pelo sistema de limpeza de gases, resulta na produção do referido

resíduo. Este material é denominado “pó de balão”, se gerado em sistema de limpeza a seco, ou “lama”, se gerado em sistema de limpeza onde há o emprego de água.

Estes resíduos são compostos pelos finos dos insumos empregados no processo de produção do ferro-gusa, a saber: finos de minério, finos de carvão vegetal e finos dos fundentes (calcário, sílica, etc.). Esta fração das matérias-primas de granulometria fina é arrastada pela corrente de gás que sai do topo de um alto-forno.

Uma alternativa viável para a destinação final de alguns resíduos industriais é o seu emprego na agricultura visto normalmente serem boas fontes de micronutrientes (MALAVOLTA, 1994). Especificamente, o pó de balão e a lama, em função da sua composição química, podem se constituir uma importante fonte de vários nutrientes para as plantas, enquadrando-se como um fertilizante organo-mineral, desde que atendam aos requisitos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O solo atua freqüentemente como um “filtro”, tendo a capacidade de depuração e imobilização de grande parte dos elementos e substâncias nele depositados. No entanto, essa capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito cumulativo pela deposição atmosférica, à aplicação de agrotóxicos e fertilizantes e à disposição de resíduos da atividade antrópica (MOREIRA-NODERMANN, 1987).

Em função das características do solo, a água se infiltra e atravessa os diversos substratos horizontais, classificados de acordo com seu nível de saturação de água (YOSHINAGA, 1993), em zonas saturadas e zonas não saturadas. A água subterrânea propriamente dita encontra-se nas zonas saturadas, onde os poros, fraturas ou espaços vazios da matriz sólida estão completamente preenchidos por água. Assim, como fazem parte de um mesmo contexto, o que ocorrer com o solo repercutirá nas águas subterrâneas e superficiais, podendo resultar em alterações de sua qualidade. Torna-se importante, então, a avaliação cautelosa dos possíveis impactos que uma determinada prática possa gerar quando utilizar o solo como meio de disposição de um material.

A disposição no solo é, sabidamente, uma das formas mais usuais e antigas de destinação de subprodutos da atividade antrópica. Porém, a disposição sem o conhecimento de seus efeitos (que podem ser positivos ou negativos) pode gerar problemas ambientais, como alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Isto faz com que seja necessária a realização de estudos para a averiguação dos possíveis impactos ambientais da

disposição de resíduos no solo para subsidiar as decisões sobre a viabilidade da disposição de um determinado resíduo no solo ou não.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o impacto ambiental sobre os recursos naturais, solo e água, da aplicação no solo de resíduos gerados no sistema de limpeza de gases de uma indústria siderúrgica a carvão vegetal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A aplicação de resíduos no solo é conhecida desde tempos remotos. Resíduos, com o propósito de beneficiar a agricultura, foram usados na Alemanha já no século XVI. Dessa época até hoje, a aplicação de desses materiais no solo vem sendo praticada em diversos países como Inglaterra, África do Sul, Argentina, Israel, Índia, Hungria, Bélgica e Estados Unidos. (CETESB,1981).

A utilização na agricultura, desde que com critério, pode se constituir uma importante alternativa para gestão de resíduos. OLIVEIRA et al., (2002) apontam o composto de lixo urbano como uma alternativa viável como adubo orgânico e condicionador de solos. ANDREOLLI (1999), TSUTIYA (1999), PIGOZZO (2003), dentre outros, recomendam o uso de biossólido ou lodo de esgoto na agricultura, atuando de maneira similar e, em muitos casos mais eficientemente que os compostos de lixo. Resíduos sólidos industriais como as escórias siderúrgicas também são exemplos de materiais que tiveram seus efeitos e viabilidade de uso na agricultura já amplamente estudados e conhecidos (FIRME, 1986; RIBEIRO et al., 1986; SOUZA et al., 2003; GOMES et al., 1965; CAMARGO, 1972). No entanto, é consenso que os resíduos, independentemente de sua origem, podem apresentar em sua composição, além de nutrientes e matéria orgânica, organismos patogênicos, compostos orgânicos persistentes e tóxicos, e metais pesados potencialmente prejudiciais ao ambiente. Portanto, depreende-se ser imperativo a caracterização das características físicas, químicas e biológicas de um

determinado resíduo, dentre outros testes. Importante também é a caracterização do ambiente em que se pretende dispor determinado resíduo além das interações resíduo-ambiente para que se possa estimar de maneira eficiente os seus possíveis impactos.

2.1. Solos

Um dos capitais naturais mais preciosos do ser humano é, indubitavelmente, o solo. A sobrevivência e a prosperidade do conjunto das comunidades biológicas terrestres, naturais ou artificiais, dependem, em última análise, do fino estrato que constitui a camada mais superficial da terra. Como nos primeiros tempos da humanidade, e apesar dos progressos realizados pelas indústrias de síntese de produtos à base de substâncias minerais, o homem ainda extrai do solo a quase totalidade de alimentos de que necessita e a maioria das matérias-primas para a fabricação de seu vestuário, de seus alimentos e de tudo que utiliza.

O solo não é estável nem inerte, pelo contrário, é um meio complexo, em contínua transformação e sujeito a processos de formação, evolução e degradação. Forma-se no contato entre a atmosfera, litosfera e biosfera, participando intimamente desses estratos diversos, mantendo relações com o reino mineral, bem como com os seres vivos. A decomposição da rocha-mãe sob ação de agentes físicos e químicos variados e sua transformação pelos seres vivos constituem processos de formação dos solos que, em contrapartida, podem ser degradados por esses mesmos agentes, como também pela intervenção humana.

Assim, o homem tem a tendência natural de utilizar o solo como depósito final de seus resíduos, na forma de aterros, infiltração, disposição direta sobre a superfície, "lixões" etc. Infelizmente, na maioria das vezes, a disposição de resíduos nos solos não é antecedida de estudos criteriosos, relacionados com os possíveis efeitos danosos ao ambiente, embora a preocupação com a degradação do solo já exista há muito tempo. Assim é que, no caso específico da deposição de resíduos sólidos, algumas propriedades do solo tem que ser conhecidas e levantadas. Dentre elas se pode citar: densidade aparente, textura, plasticidade, natureza mineralógica, troca catiônica, atividade, coesão, estruturas das argilas, porosidade, granulometria, etc... Em função das particularidades de um

empreendimento, determina-se características ou parâmetros que devem ser avaliados, sempre levando em consideração que os principais mecanismos de poluição ambiental que ocorrem na disposição final de um resíduo no solo são a possibilidade de contaminação da água subterrânea, freática ou artesianas e a degradação da qualidade do solo prejudicando sua capacidade produtiva em termos qualitativos e quantitativos.

2.2. Resíduos sólidos industriais

2.2.1. Aspectos gerais

A poluição industrial, percebida nos diversos processos produtivos, pode ser entendida como formas de desperdício e ineficiência das técnicas e métodos empregados pelo homem. Nesse contexto, para se buscar êxito no gerenciamento de resíduos gerados em uma determinada atividade, deve-se priorizar técnicas que visem, primordialmente, o melhor aproveitamento das matérias-primas e o reaproveitamento de resíduos.

Setores de produção como os de energia, papel e celulose e têxtil destacam-se como pioneiros no Brasil nessa nova visão em que se preconiza o aumento de qualidade e minimização de perdas, desta maneira, favorecendo a busca de sustentabilidade nas relações homem-meio ambiente.

Assim, o gerenciamento ideal de resíduos sólidos industriais é pautado nos seguintes conceitos:

- Minimizar – abordagem preventiva, orientada para reduzir o volume e o impacto causado pelos resíduos;
- Valorizar – abordagem orientada para extrair valores materiais ou energéticos contribuindo para a diminuição dos custos de destinação de um determinado resíduo;
- Reaproveitar – abordagem corretiva, orientada para trazer de volta ao ciclo produtivo matérias-primas, substâncias e produtos extraídos dos resíduos;
- Dispor – abordagem passiva, orientada para conter os efeitos nocivos ao ambiente de um determinado resíduo, mantendo-os sob controle em locais monitorados;

Dentro da abordagem pelo reaproveitamento, a reciclagem de resíduos sendo utilizados com insumos na agricultura apresenta grande potencial, assim possibilitando reduzir substancialmente o volume a ser disposto ou tratado e a recuperação de valores contidos nesses resíduos que, de outra forma, seriam perdidos.

2.2.2. Conceito e classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos industriais podem se apresentar das mais variadas formas, tais como: cinzas, escórias, lodos, cerâmicas, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, metais, vidros e borrachas, dentre outros, podendo ser originários das diversas atividades industriais, tais como: metalurgia, química, petroquímica, celulose e alimentícia (NAUMOFF & PERES, 2000).

Segundo a Norma ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10.004/2004, são considerados resíduos sólidos aqueles materiais, que nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Tais resíduos são classificados com base na sua periculosidade e solubilidade. De acordo com a Norma Brasileira – NBR 10.004/2004, os Resíduos Classe I são perigosos, tendo periculosidade avaliado pela inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Já os Resíduos Classe II, subdividida em IIA, não-inertes, podendo ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, e IIB, inertes; não representando maiores problemas para a saúde pública ou riscos para o meio ambiente.

Neste contexto, durante o processamento industrial podem ser gerados resíduos sólidos perigosos, não-Inertes ou Inertes, o que recomenda atenção nos setores operacional

e de meio ambiente da indústria, a fim de evitar a mistura desses resíduos durante as atividades de acondicionamento, coleta, tratamento e destino final.

Atualmente, algumas indústrias brasileiras estão realizando programas internos para reciclagem dos seus resíduos sólidos, pois a segregação do material, ainda na fonte geradora, diminui o volume total de resíduos, reduz os gastos operacionais e, em alguns casos, pode gerar uma nova receita para indústria. Entre os principais tipos de reciclagem estão a de material orgânico, para fabricação de compostos e fertilizantes ou o seu emprego direto na agricultura; a de papel, cartões, cartolinas e papelões, para fabricação de papel reciclado; a de plásticos, cacos de vidro e metais, para uso na própria indústria ou fabricação de produtos recicláveis, como embalagens.

A incineração de resíduos sólidos industriais é uma alternativa para redução do seu volume, sendo bastante discutida. Os que a defendem consideram que é uma forma de eliminar possíveis riscos para a saúde pública, enquanto os que a combatem argumentam que a má operação dos incineradores pode ser uma nova fonte de poluição / contaminação atmosférica (gases e material particulado).

A disposição dos resíduos em aterros industriais é muito utilizada, pois essas grandes escavações no terreno armazenam grande volume desse material. Contudo, os aterros sanitários precisam ser construídos e operados com grande segurança, para que não ocorra contato do material com o solo ou percolação de líquidos para o aquífero livre.

No caso de poluição/contaminação do meio ambiente, próximo de aterros industriais, o responsável pelo empreendimento pode ser responsabilizado judicialmente pelo passivo ambiental gerado. Vale observar que as normas brasileiras de aterros de resíduos perigosos (NBR 10.157) e não perigosos (NBR 13.896) estabelecem que, após o encerramento da capacidade do aterro, a empresa responsável deverá monitorar as águas subterrâneas por 20 anos e realizar a manutenção do mesmo.

2.2.3. Processo siderúrgico e geração dos resíduos pó de balão e lama

O ferro na sua forma metálica é obtido através da mistura de óxidos deste metal com carbono e ar. O oxigênio do ar reage com o carbono, gera energia e gás redutor (CO) necessários a redução de Fe_2O_3 . No Brasil a quase totalidade da produção de ferro primário

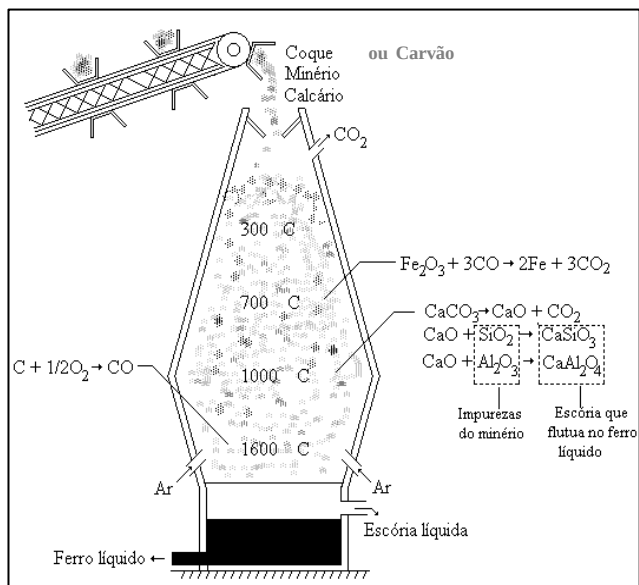
é obtida em alto-fornos a carvão vegetal ou coque, utilizados como agentes termoredutores. Os empreendimentos voltados à produção de ferro-gusa comportam uma divisão entre siderúrgicas integradas, onde o agente termoredutor empregado é o coque, e siderúrgicas “independentes”, onde se emprega o carvão vegetal como agente termoredutor. As últimas são indústrias voltadas tão somente à produção de ferro-gusa, sendo por isso denominadas de produtoras “independentes”.

Nas figuras 1 e 2 pode-se observar a estrutura de um alto-forno utilizado na siderurgia. O minério de ferro, carvão vegetal ou coque e fundentes (calcário e sílica, dentre outros) são introduzidos no alto-forno pelo topo.

O ferro-gusa é obtido à medida que o minério de ferro, o carvão vegetal ou o coque e os fundentes descem em sentido contrário ao do fluxo de gases provenientes da queima do carbono com o oxigênio do ar quente soprado pela base do alto-forno.



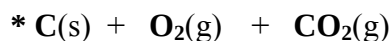
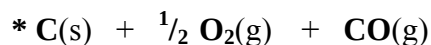
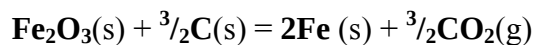
Figura 1. Detalhe de um alto-forno de uma indústria siderúrgica.



Fonte: ROMEIRO, 1997.

Figura 2. Esquema de funcionamento de um alto-forno.

Em síntese, o alto-forno é um reator cujo principal objetivo é reduzir os óxidos de ferro, presentes no minério de ferro, como a magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3), em ferro metálico (Fe^{++}). Esta redução é obtida pelo uso do carvão vegetal que possui, em média, 70% de carbono fixo e atua como um agente “termorreduzidor”, fornecendo calor e retirando o oxigênio que está ligado ao ferro sob a forma de óxido, conforme equações abaixo.



* O oxigênio que reage pode ser originário do ar atmosférico, que é injetado através das ventaneiras ou dos óxidos presentes no minério e nos fundentes.

(s) estado sólido.

(g) estado gasoso.

O gás que sai do topo do alto-forno arrasta consigo uma grande quantidade de material particulado. Portanto, este gás deve ser previamente tratado antes de ser reaproveitado no processo siderúrgico para obtenção de calor, por apresentar alto poder calorífico.

Se o material particulado é removido via seca, tem-se a geração do pó de coletor ou pó de balão, com uma quantidade gerada variando de 20 a 45 kg por tonelada de gusa produzido (Figura 3).

No entanto, pode-se utilizar equipamentos que empregam água para remover ou reter o material particulado, com uma quantidade gerada variando entre 8 a 30 kg por tonelada de gusa produzido.

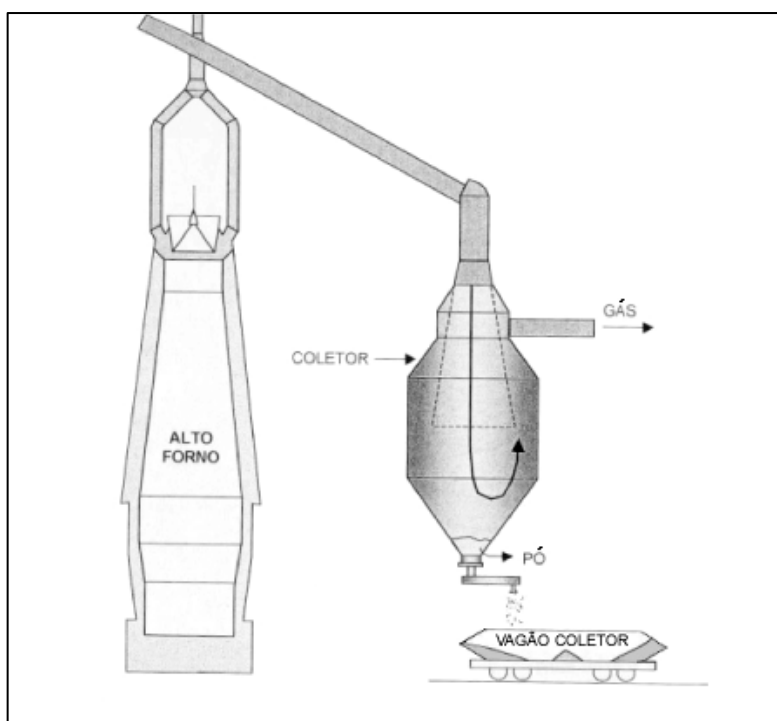


Figura 3. Detalhe de um coletor de pó gerado na saída de gases.

Os sistemas básicos de limpeza de gás de alto-forno utilizados pelos produtores independentes de gusa podem ser resumidos em:

- Coletor de pó com selo seco.
- Coletor de pó com selo úmido.
- Ciclone.
- Lavador tipo Venturi.
- Lavador tipo Torre de lavagem.

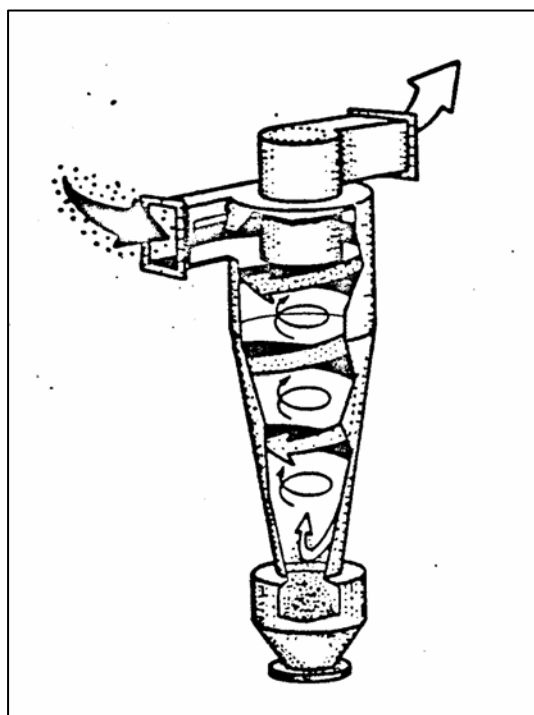
No coletor de pó com selo seco ou úmido, o gás vem do alto forno e entra num tubo cônico, cujo diâmetro vai aumentando progressivamente. Como o gás é forçado a mudar de direção (para sair do coletor novamente pela parte superior), sua velocidade cai devido à maior seção e o pó arrastado deposita-se no fundo do balão. O selo do coletor pode ser a seco, gerando o pó de balão, ou a úmido, gerando a lama (Figura 4).



Fonte: OLIVEIRA, 2003.

Figura 4. Esquema de um coletor de pó gerado na saída de gases.

No ciclone, o gás entra tangencialmente, realizando uma trajetória circular no interior do aparelho, e sofre uma série de mudanças de direção. As partículas, tendendo a manter a trajetória, são projetadas contra as paredes, perdem energia de movimento e caem no fundo cônico do ciclone (Figura 5)



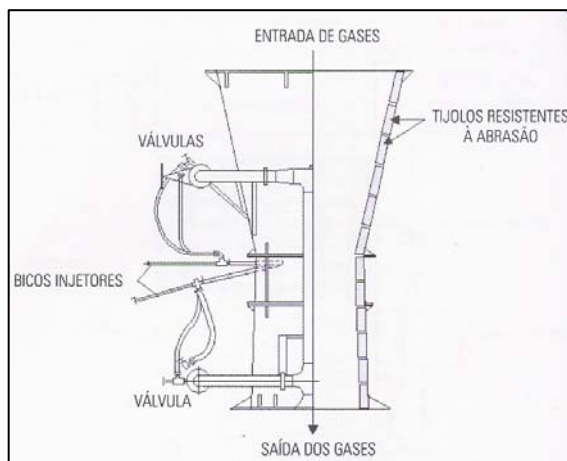
Fonte: PROJETO MINAS AMBIENTE, 2002.

Figura 5. Esquema de um ciclone.

O lavador tipo Venturi tem um trecho de seção decrescente seguido de outro de seção decrescente. Na área restrita, o gás atinge a maior velocidade e turbulência. Se nessa área for injetada água pulverizada, a brusca mudança de direção, combinada com o súbito aumento da seção logo a seguir, causa uma diminuição de pressão, favorecendo a nebulização e o contato com os grãos de pó. Esses, molhados, tornam-se pesados e separam-se da corrente gasosa (Figura 6).

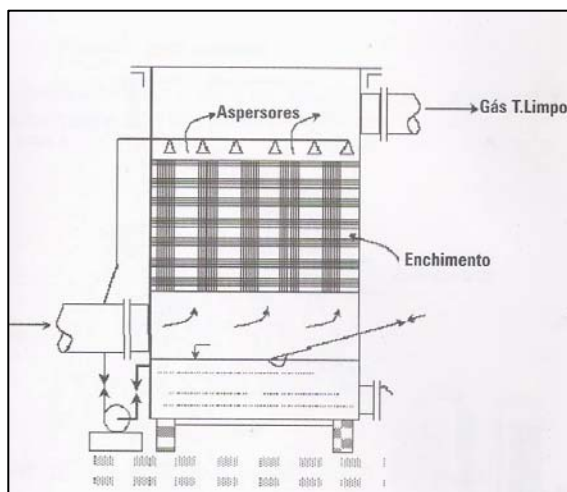
O lavador tipo Torre de Lavagem é um reservatório cilíndrico, contém em seu interior chicanas de madeira, bandejas de grelhas cerâmicas ou mesmo pedaços de vidro, criando um percurso mais acidentado e demorado. Deste modo, a água de lavagem,

borrifada por meio de chuveiros no topo da torre, encontra o gás que sobe em contracorrente. Usa-se também um eixo com um disco central que suporta uma série de barras espaçadas regularmente, girando entre outra série de barras estacionárias presas á parede da carcaça. O rotor gira e faz com que a água dos chuveiros, ao ser lançada contra as barras móveis, forme gotículas e se misture com o gás que atravessa o aparelho, molhando as partículas em suspensão (Figura 7).



Fonte: PROJETO MINAS AMBIENTE, 2002.

Figura 6. Esquema de um lavador tipo Venturi.



Fonte: Projeto Minas Ambiente, 2002.

Figura 7. Esquema de um lavador tipo Torre de Lavagem.

Em Minas Gerais, todas as empresas produtoras independentes de gusa utilizam o coletor de pó, sendo que a maioria tem o selo seco. Já com relação aos outros sistemas de limpeza, poucas têm ciclone e lavadores. Alguns alto-fornos possuem ciclone em conjunto com coletores de pó e outros lavadores também em conjunto com coletores. Como pode-se abstrair, no coletor com selo seco e ciclone é gerado o pó e nos lavadores e coletor com selo úmido é gerado a lama.

No quadro 1 é apresentada a composição química média do resíduo que pode variar em função do processo e das matérias-primas empregadas.

Quadro 1. Análise química por fluorescência de raios X

Por Composto		Por Elemento Químico	
Composto	(Peso -%)	Elementos	(Peso -%)
Fe ₂ O ₃	62,25	Fe	43,50
C (+H+N)	31,36	C (+H+N)	31,36
SiO ₂	2,95	O	21,60
Al ₂ O ₃	1,15	Si	1,35
CaO	0,83	Al	0,60
P ₂ O ₅	0,47	Ca	0,59
MnO	0,35	Mn	0,27
K ₂ O	0,33	K	0,27
TiO ₂	0,06	P	0,20
SO ₃	0,03	Ti	0,03
I	0,03	I	0,03
BaO	0,02	Ba	0,02
La ₂ O ₃	0,01	Cl	0,01
Cl	0,01	La	0,01
CdO	0,01	S	0,01
Ag ₂ O	0,01	Cd	0,01
		Ag	0,01

Adaptada de ROCHA (2003). Resultados semelhantes são apresentados pela lama

2.2.4. Características Físicas

As características físicas mais importantes a serem consideradas em resíduos são: cor, odor e temperatura. Geralmente, a temperatura é estável e não apresenta dificuldades para lançamento ao solo. Como, no Brasil, a literatura e metodologia aplicáveis aos

resíduos foram inicialmente desenvolvidas para lodo de esgoto, quando se tratam de resíduos industriais alguns parâmetros sugeridos não são aplicáveis, como é o caso, por exemplo, da cor, que indica o estado do material, que pode ser fresco ou séptico, ou se esse contém outros tipos de despejos e não seria, portanto aplicável este tipo de raciocínio no presente caso, mas, para não deixar de mencionar, a cor preponderante é o cinza-escuro para negro, semelhante aos esterco e compostos orgânicos, de uso comum na agricultura. O pó de balão e a lama, logo à saída do alto-forno apresentam temperatura elevada. Entretanto, são resfriados e, quando prontos para uso agrícola, encontram-se na temperatura ambiente, não tendo problemas, portanto, com a temperatura.

2.2.5. pH

Os resíduos que possuem pH acima de 6,0 geralmente têm boa aceitação, para aplicação no solo, pelas suas propriedades de tamponamento que resultam em boa eficiência na correção da acidez e do solo.

A adição ao solo de fontes de carbono orgânico é prática comum e resulta na elevação do pH, na neutralização do ferro e do alumínio trocável, na insolubilização do manganês, no fornecimento de alguns nutrientes e na alteração na disponibilidade de outros, na elevação na capacidade de troca catiônica (CTC) etc. Todas as reações anteriores são vantajosas para o aumento de produtividade da terra. O pó de balão e a lama apresentam estas reações quando aplicados ao solo. LIMA (2003) apresenta resultados de aumento do pH do solo em resposta à aplicação de doses crescentes pó de balão em ensaios com solo incubado.

2.2.6. Metais Pesados

Atualmente, alguns pesquisadores têm considerado os resíduos como fontes potenciais de metais pesados para o solo (AMARAL SOBRINHO et al., 1992). Este aspecto merece atenção especial, devendo ser analisado de forma consciente de maneira que a solução de um problema não venha acarretar outros.

Consideram-se metais pesados os elementos químicos pertencentes ao grupo de transição da tabela periódica e que apresentam valores de peso atômico e densidade elevados. São também denominados microelementos, elementos-traços e, quando atendem aos critérios de essencialidade, micronutrientes. Os metais pesados são muito estáveis na natureza, apresentando grande persistência e são, conseqüentemente, acumulados no solo e, ou, em sistemas biológicos, a partir dos níveis inferiores da cadeia alimentar (BITTELL & MILLER, 1974 e LAGERWERFF, 1977).

Os metais pesados são provenientes de várias fontes, destacando-se, principalmente, os aerossóis urbano-industriais, os rejeitos líquidos e sólidos de animais, do homem, das minerações, da indústria, da agroindústria e os agrotóxicos (BRAILE & CAVALCANTI, 1979).

Os teores de metais pesados no solo que podem ser considerados tóxicos para as plantas e, posteriormente, transmitidos na cadeia alimentar ainda não estão bem definidos, e uma série de estudos a respeito vem sendo conduzida, em diversos países. RURVES, citado por BRAILE & CAVALCANTI (1979), desenvolveu uma série de experimentos, durante vários anos, envolvendo aumento nas concentrações dos elementos cobre, cádmio e zinco, em solos, visando determinar os seus níveis fitotóxicos para aveia, cravo, rabanete e alface. Encontrou que um efeito fitotóxico nessas plantas é possível, quando são encontrados teores no solo superiores a 30 mg/dm^3 de cobre extraído em EDTA, 200 mg/dm^3 de zinco extraído em ácido acético e 20 mg/dm^3 de cádmio extraído em ácido acético.

A grande capacidade de adsorção apresentada pelo solo faz com que ele se torne o local comum de destino dos rejeitos líquidos e sólidos. Porém, estudos, caso a caso, devem ser conduzidos, pois se sua capacidade de adsorção for ultrapassada, pode ocorrer degradação da qualidade do solo (CETESB, 1984).

De maneira geral, os metais pesados, após serem dispostos no solo, participam de várias reações:

- a. Os solos possuem vários sítios de adsorção, com diferentes propriedades de ligação, além de ampla gama de complexos iônicos e não-iônicos, capazes de adsorver e mesmo precipitar metais (CETESB, 1977);
- b. HARMSEM (1979) relatou alguns sítios de adsorção com cargas negativas dos argilominerais;

- c. Reações de complexação com compostos orgânicos também ocorrem (BAES & SHARP, 1983; AMACHER et al., 1986; KING, 1988) e são importantes, pois a matéria orgânica é responsável por grande parte da CTC dos solos (MCLELLAN & ROCK, 1988). Os metais apresentam grande afinidade por ácidos húmicos, na seguinte ordem decrescente: cobre, chumbo, ferro, cobalto, cádmio, zinco e alumínio (COSTA, 1990);
- d. A valência do íon é um fator muito importante para a adsorção; para íons de mesma valência, a preferência de adsorção será determinada pelo raio hidratado do cátion ou pela sua energia de hidratação (BOHN et al., 1979);
- e. O potencial hidrogeniônico influencia muito à adsorção dos metais, determinando, conjuntamente com o potencial de oxirredução, o equilíbrio entre as formas iônicas, fazendo com que os de baixa valência sejam mais móveis que os de valência maior (ELLIS & KNEZEK, 1977); e
- f. Os óxidos de ferro e alumínio, por seu turno, apresentam elevada adsorção de metais, em razão de mecanismos próprios de adsorção, e não de sua carga superficial (ELLIOT et al., 1986).

Vários países possuem normas que regem a disposição de resíduos sólidos sobre o solo. Nos Estados Unidos, por exemplo, a disposição é baseada na classe textural e na capacidade de troca catiônica do solo (ELLIOT et al., 1986). No Brasil esta questão ainda é polêmica e, assim, para o uso de resíduos principalmente na agricultura tem sido sugerido um estudo do resíduo e recomendações para seu uso.

2.2.7. Matéria orgânica

A introdução de matéria orgânica pode contribuir decisivamente para o desenvolvimento ótimo de uma cultura vegetal, seja ela uma espécie florestal ou não. É notório o fato de que a maioria das terras usadas para o plantio de eucalipto são de baixa fertilidade. O *Eucalyptus* sp é uma espécie vegetal tolerante à acidez do solo e a baixos níveis de fertilidade do solo, tornando-se, assim, uma espécie adequada para a exploração dos solos de cerrado. A utilização do pó de balão e da lama como fontes de matéria orgânica para os solos utilizados no cultivo de eucalipto poderia, de forma sustentável, melhorar a fertilidade e diminuir a exportação de nutrientes, causada pela atividade de carvoejamento. ALMEIDA (2001) recomendou estudo detalhado da aplicação do pó de

balão nos solos, uma vez que este material vem sendo aplicado com sucesso em algumas lavouras de milho no Estado de Minas Gerais. A lama deve ter também o mesmo tratamento.

2.2.7. Fenóis

A preocupação maior dos órgãos ambientais em relação a estes materiais, pó de balão e lama, é no que se refere à presença de fenóis.

Deve-se, entretanto, considerar que os problemas levantados pelos órgãos ambientais referem-se, por exemplo, ao pentaclorofenol um composto fenólico sintético e não aos fenóis naturais de estrutura molecular mais simples. O pentaclorofenol é um composto orgânico sintético, ou seja, não existe na natureza. Este é um composto realmente perigoso enquanto que os compostos fenólicos naturais como os presentes nos resíduos gerados no sistema de limpeza de gases, precisamente por não terem sofrido as reações dentro do alto-forno, são de ocorrência natural. Em muitos casos estes compostos fenólicos naturais são até de uso comum e necessários ao nosso dia-a-dia (PROJETO MINAS AMBIENTE, 2003).

2.1.8. A aplicação dos resíduos gerados no sistema de limpeza de gases no solo

No todo mundo e também no Brasil, com o aumento crescente do emprego de tecnologias nos diversos empreendimentos humanos, variáveis, antes não consideradas ou postas em segundo plano, vêm ganhando cada vez importância no sentido de otimizar os processos produtivos. Especificamente na agricultura, pode-se citar a preocupação que deve ser dada balanço de micronutrientes nos solos e nas diversas culturas agrícolas. A produtividade de algumas culturas vem sendo seriamente limitada pela deficiência de micronutrientes em determinadas regiões. O problema é agravado em virtude da baixa fertilidade dos solos, pela remoção destes elementos nas colheitas e pelo uso crescente, e provavelmente incorreto, de calcário e adubos fosfatados, que contribuem para uma menor solubilidade dos micronutrientes (BATAGLIA & RAIJ, 1989).

Em função do vultoso parque siderúrgico brasileiro é grande a preocupação com o gerenciamento de resíduos sólidos tem aumentado tornado-se um problema grave, em razão dos impactos que esses materiais podem causar ao meio ambiente (AMARAL SOBRINHO et al., 1993). Nesse sentido, é imperativo que se intensifique pesquisas que visem o melhor aproveitamento e destinação de resíduos, e com isso minimizando impactos ou gerando divisas com uma destinação mais racional, a exemplo, como o uso na agricultura, sendo utilizados como corretivos, fertilizantes, condicionadores de solo, dentre outras aplicações.

Esses resíduos apresentam, geralmente, teores elevados de micronutrientes (MALAVOLTA, 1994). Seu emprego como insumos agrícolas tem-se mostrado uma alternativa viável para o aproveitamento dos resíduos de siderurgia. Entretanto, na utilização desses materiais é necessário considerar-se, também, o teor de metais pesados, dentre outras características, que, em níveis elevados, podem tornar-se tóxicos e limitar seu uso na atividade agrícola.

A existência de finos de minério, e, conseqüentemente, a de óxidos de ferro no pó de balão e na lama está diretamente associada às características físicas do minério utilizado. Analogamente, a presença de finos de carvão e dos fundentes está associada as suas características físicas.

Estima-se uma produção variando de 20 a 30 kg de pó e lama sendo gerados por tonelada de gusa produzido. De acordo com ROCHA (2003), o pó de balão apresenta um teor médio de 30% de carbono em sua constituição. Este valor é o mesmo para a lama quando se analisa em termos de matéria seca.

KIEHL (1985) recomenda adotar coeficientes de conversão para se obter a quantidade de matéria orgânica a partir dos valores de carbono obtidos analiticamente em dado material, em função de não ser possível estimar diretamente os valores de matéria orgânica. Adotando-se os coeficientes recomendados por e multiplicando-se o teor de carbono orgânico presente nos resíduos pelo fator 1,8 obtêm-se uma estimativa de aproximadamente 50 % de matéria orgânica para estes materiais, considerando-se que todo o carbono é originário do carvão vegetal. A origem do material orgânico presente no pó de balão e na lama está relacionada ao carvão vegetal utilizado no processo.

O teor de carbono fixo total e a presença de alguns elementos importantes para os vegetais, como o Fe, Mn, Si, K e o S, entre outros (Quadro 1), associado a uma

granulometria favorável a aplicação, rápida degradação e mineralização no solo (Quadro 2), possibilitam estudos e considerações quanto a seu uso agrícola.

Outra característica importante de um dado material a ser considerada quando da aplicação do mesmo no solo é a sua reatividade. Materiais de granulometria mais fina são mais reativos que os de granulometria mais grossa, ou seja, os elementos nele contidos se tornam disponíveis em menor tempo. Pode-se esperar que o pó de balão e lama apresentam alta reatividade em função de apresentar a quase totalidade de suas partículas com tamanho inferior a 2 mm (Quadro 2).

Quadro 2. Análise granulométrica do pó de balão de um alto-forno a carvão vegetal

Pó de balão	
Tamanho (mm)	Acumulado – peso (%)
4,000	99,44
2,000	98,30
1,000	94,05
0,500	85,35
0,250	71,28
0,180	60,42
0,130	45,92
0,090	27,61
0,063	11,26
0,045	5,74
0,025	1,82
< 0,025	1,07

Adaptada de Rocha (2003). Resultados semelhantes são apresentados pela lama.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

Os ensaios que permitiram avaliar os efeitos da aplicação dos resíduos pó de balão e lama sobre características do solo e água foram realizados em áreas de plantio comercial de eucalipto de propriedade da Metalsider LTDA. Foram instaladas duas áreas experimentais: uma localizada no município de Curvelo-MG, mais precisamente no km 401 da BR 040, e a outra no município de Três Marias-MG, cerca de quinze quilômetros distantes do distrito de Andrequicé-MG.

As coordenadas geográficas médias são: Longitude 18°48'45"S e Latitude 44°26'15"W para o município de Curvelo-MG; e, Longitude 18°11'15" S e Latitude 44°11'15"W para o município de Três Marias-MG. Na figura 8 é apresentada a localização dos municípios de Curvelo-MG e Três Marias-MG.

O experimento foi conduzido simultaneamente nas duas áreas experimentais no período de novembro de 2004 a janeiro de 2006 sendo as duas regiões bastante semelhantes nos diversos atributos físicos, químicos, morfológicos e climáticos, variando basicamente na textura do solo, sendo um argiloso e outro arenoso. A classe de solo dominante nas áreas experimentais é a de Latossolo Vermelho Hipoférrico, para o solo areno-argiloso próximo a Três Marias (Fazenda Araras IV), e o Latossolo Vermelho Mesoférrico, para o solo argiloso da Fazenda Santa Rita, em Curvelo-MG. No quadro 3 encontram-se o valores

obtidos para a caracterização preliminar dos solos quanto a seus atributos químicos e físicos para os experimentos conduzidos em Três Marias-MG e Curvelo-MG.

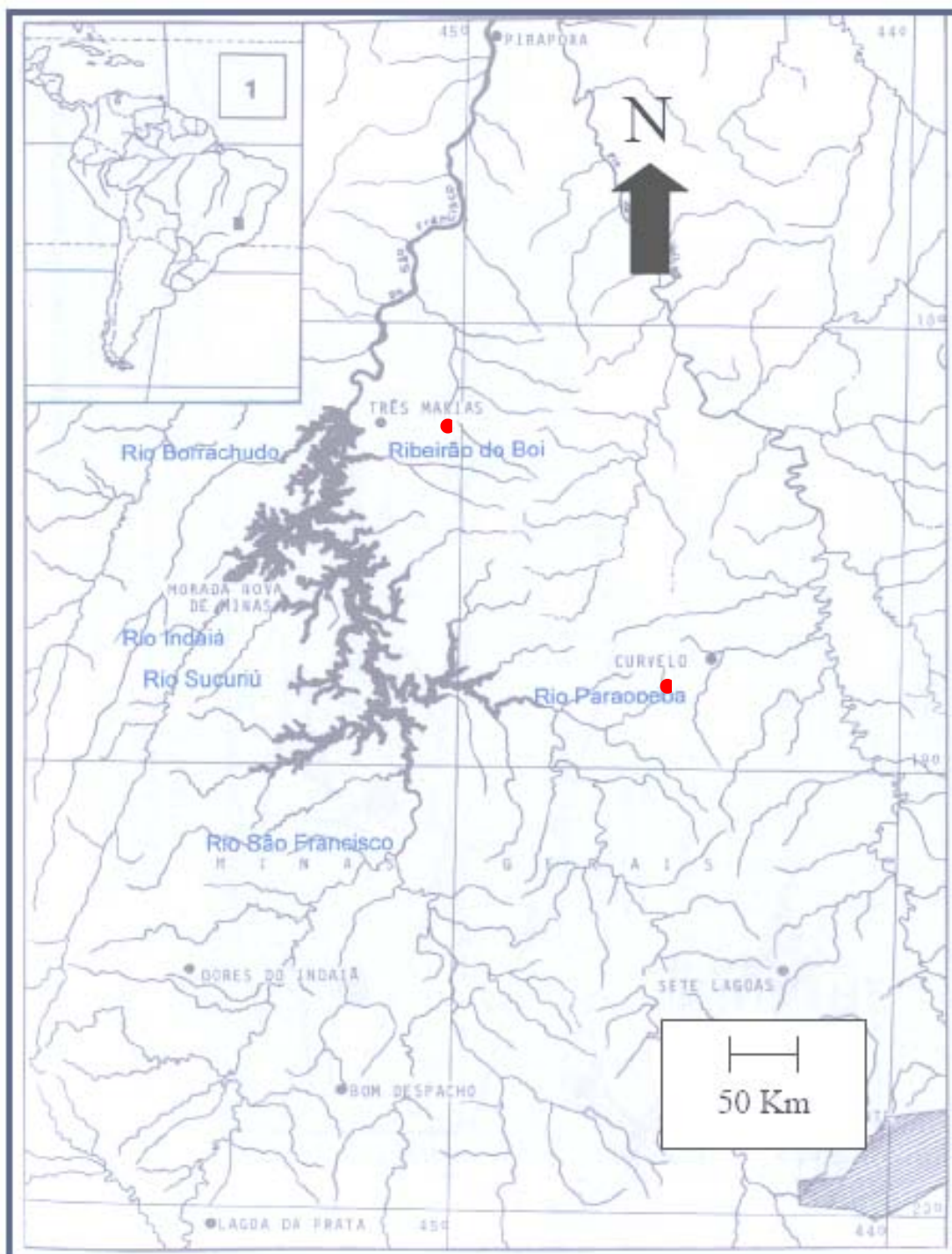
Ambas regiões se encontram inseridas no bioma Cerrados, de solos naturalmente de baixa fertilidade. São também regiões de grande expansão do plantio de eucalipto basicamente para produção de carvão vegetal para a indústria siderúrgica.

PANOSO et al., (1978) aplicando a classificação climática de Köppen, verificaram que a região se enquadra no tipo AW, que corresponde à tropical de savana. Os verões são quentes com tendência a concentração de chuvas. As temperaturas médias são de 22,5 °C para o município de Três Marias-MG e de 22,6 °C para o município de Curvelo-MG.

Quanto ao relevo, em ambos os municípios, predominam formas planas a onduladas, caracterizando áreas com alto potencial para disposição de resíduos no solo.

Quadro 3. Caracterização química e física dos solos das áreas onde foram instaladas o experimentos em Três Marias-MG e Curvelo-MG

Características	Três Marias	Curvelo
Areia grossa (%)	80,00	14,00
Silte(%)	7,00	11,00
Argila (%)	13,00	75,00
pH água	4,50	4,90
P (mg/dm ³)	0,67	1,60
K (mg/dm ³)	11,00	34,00
Al (cmolc/dm ³)	1,18	0,20
Ca (cmolc/dm ³)	0,01	0,02
Mg (cmolc/dm ³)	0,03	0,43



Fonte: BRISTKI et al., 1988.

Figura 8. Localização geográfica dos municípios de Três Marias-MG e Curvelo-MG.

3.2. Caracterização do pó de balão e lama utilizados no experimento

No experimento foram utilizados resíduos (pó de balão e lama) gerados por uma indústria de produção de ferro-gusa à carvão vegetal localizada no município de Betim-MG. Como mencionado anteriormente, estes resíduos são gerados no processo de limpeza da saída de gases do alto-forno desta empresa.

Os resíduos gerados na usina siderúrgica, foram transportados, durante todo período de aplicação dos materiais no solo, até as duas áreas experimentais, localizadas nas fazendas Araras e Santa Rita, em Três Marias-MG e Curvelo-MG, respectivamente.

Como já mencionado, por se tratar de resíduos industriais, a classificação e caracterização destes materiais devem obedecer ao estabelecido pela NBR 10004:2004. Busca-se assim identificar os potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, visando auxiliar o gerenciamento adequado e, por fim, a definição da forma mais apropriada de armazenamento e disposição final de um determinado resíduo.

As normas, padrões e termos de referência segundo os quais foram desenvolvidos os trabalhos de caracterização e classificação do resíduo no presente estudo foram os seguintes:

- ABNT NBR 10.004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação;
- ABNT NBR 10.005:2004 – Lixiviação de Resíduos – Procedimento;
- ABNT NBR 10.006:2004 – Solubilização de Resíduos – Procedimento;
- ABNT NBR 10.007:2004 – Amostragem de Resíduos – Procedimento;
- ABNT NBR 1.264:1989 – Armazenamento de Resíduos Classe II – não inertes e III – inertes;
- ABNT NBR 12.235 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos;
- AWWA – APHA – WPCI – Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20^a edição (1998).

Todos, os trabalhos de amostragem, análises químicas para classificação dos resíduos, a luz da NBR 10.004/2004, foram realizados pela empresa de prestação de serviços de laboratório e consultoria em meio ambiente ENGEQUISA S/C Ltda.

O resíduo disposto em forma de pilhas em pátios da indústria siderúrgica fornecedora dos resíduos foi amostrado em três profundidades, em quadriculas representativas. A amostra foi acondicionada em sacos plásticos e acondicionada em caixas de isopor contendo gelo e levada ao laboratório, em quantidade aproximada de cinco quilos. Em seguida, a amostra sofreu sucessivos quarteamentos até a obtenção de três novas amostras representativas para realização dos testes específicos de Lixiviação, Solubilização e os demais previstos pela norma específica.

As amostras foram submetidas a ensaios quantitativos nos extratos lixiviados e solubilizados e os resultados comparados com os limites listados nos anexos F e G da NBR 10.007:2004 (Quadros 4 e 5) visando a sua classificação.

O resíduo em questão não apresentou nenhuma das condições preliminares que o classificaria como perigoso, ou seja, não apresentou reatividade, corrosividade ou inflamabilidade. Os parâmetros cianeto, ferro, alumínio e manganês se apresentaram, no extrato solubilizado, acima dos limites estabelecidos pelo anexo G da NBR 10.004:2004 (Quadros 6 e 7), assim, o resíduo gerado no sistema de limpeza de gases de um alto-forno classifica-se como classe II A – Resíduo não perigoso não inerte. Desta maneira, deve-se considerar, dentre outros, os fatores relacionados à quantidade e características do resíduo gerado.

Procedeu-se, ainda, a caracterização química do resíduo realizada no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Viçosa-MG. Os resultados se encontram ao quadro 8.

Quadro 4. Limite máximo permitido no extrato obtido no ensaio de lixiviação

Descrição do parâmetro	Unidade	Limite máximo no extrato
1,1 Dicloroetileno	$\mu\text{g L}^{-1}$	3.000
1,4 Diclorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	7.500
1,2 Dicloroetano	$\mu\text{g L}^{-1}$	1.000
2,4 Dinitrotolueno	$\mu\text{g L}^{-1}$	130
2,4,5 Triclorofenol	$\mu\text{g L}^{-1}$	400.000
2,4,6 Triclorofenol	$\mu\text{g L}^{-1}$	20.000
2,4,5 – T	$\mu\text{g L}^{-1}$	200
2,4,5 – TP	$\mu\text{g L}^{-1}$	1.000
2,4 – D	$\mu\text{g L}^{-1}$	3.000
Aldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	3
Arsênio	mg L^{-1}	1
Bário	mg L^{-1}	70
Benzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	500
Benzeno-A-Pireno	$\mu\text{g L}^{-1}$	70
Cádmio	mg L^{-1}	0,5
Chumbo	mg L^{-1}	1,0
Clordano	$\mu\text{g L}^{-1}$	20
Cloreto de Vinila	$\mu\text{g L}^{-1}$	500
Clorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	100.000
Clorofômio	$\mu\text{g L}^{-1}$	6.000
Cresol	$\mu\text{g L}^{-1}$	200.000
Cromo total	mg L^{-1}	5,0
DDT	$\mu\text{g L}^{-1}$	200
Dieldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	3
Endrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	60
Fluoretos	mg L^{-1}	150,0
Heptacloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	3
Hexaclorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	100
HexacloroButadieno	$\mu\text{g L}^{-1}$	500
Hexacloroetano	$\mu\text{g L}^{-1}$	3.000
Lindano	$\mu\text{g L}^{-1}$	200
Mercúrio	mg L^{-1}	0,1
Metiletilcetona	$\mu\text{g L}^{-1}$	200.000
Metoxicloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	2.000
Nitrobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	2.000
Pentaclorofenol	$\mu\text{g L}^{-1}$	900
Piridina	$\mu\text{g L}^{-1}$	5.000
Prata	mg L^{-1}	5,0
Selênio	mg L^{-1}	1,0
Tetracloroeto de carbono	$\mu\text{g L}^{-1}$	200
Tetracloroetileno	$\mu\text{g L}^{-1}$	4.000
Toxafeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	500
Tricloroetileno	$\mu\text{g L}^{-1}$	7.000

Quadro 5. Limites para ensaio de solubilização

Descrição do parâmetro	Unidade	Limite máximo no extrato
2,4,5 – T	$\mu\text{g L}^{-1}$	2
2,4,5 – TP	$\mu\text{g L}^{-1}$	30
2,4 – D	$\mu\text{g L}^{-1}$	30
Aldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,03
Alumínio	mg L^{-1}	0,2
Arsênio	mg L^{-1}	0,01
Bário	mg L^{-1}	0,7
Cádmio	mg L^{-1}	0,005
Chumbo	mg L^{-1}	0,01
Cianeto	mg L^{-1}	0,07
Clordano	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,2
Cloretos	$\mu\text{g L}^{-1}$	250,0
Cobre	$\mu\text{g L}^{-1}$	2
Cromo total	$\mu\text{g L}^{-1}$	5,0
DDT	$\mu\text{g L}^{-1}$	2
Dieldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,03
Endrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,6
Fenóis	mg L^{-1}	0,01
Ferro	mg L^{-1}	0,3
Fluoretos	mg L^{-1}	1,5
Heptacloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	0,03
Hexaclorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	1
Lindano	$\mu\text{g L}^{-1}$	2
Manganês	mg L^{-1}	0,1
Mercurio	mg L^{-1}	0,001
Metoxicloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	20
Nitrato	mg L^{-1}	10,0
Prata	mg L^{-1}	0,05
Selênio	mg L^{-1}	0,01
Sódio	mg L^{-1}	200,0
Sulfato	mg L^{-1}	250,0
Sulfactantes	mg L^{-1}	0,5
Toxafeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	5
Zinco	$\mu\text{g L}^{-1}$	5,0

Quadro 6. Resultados dos parâmetros obtidos no extrato obtido no ensaio de lixiviação do resíduo analisado no presente estudo

Descrição do parâmetro	Unidade	Valores
1,1 Dicloroetileno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
1,4 Diclorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
1,2 Dicloroetano	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4 Dinitrotolueno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4,5 Triclorofenol	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4,6 Triclorofenol	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4,5 – T	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4,5 – TP	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4 – D	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Aldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Arsênio	mg L^{-1}	<0,001
Bário	mg L^{-1}	<0,01
Benzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Benzeno-A-Pireno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Cádmio	mg L^{-1}	<0,001
Chumbo	mg L^{-1}	0,006
Clordano	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Cloreto de Vinila	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Clorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Clorofômio	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Cresol	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Cromo total	mg L^{-1}	0,080
DDT	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Dieldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Endrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Fluoretos	mg L^{-1}	0,3
Heptacloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Hexaclorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
HexacloroButadieno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Hexacloroetano	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Lindano	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Mercúrio	mg L^{-1}	<0,001
Metiletilcetona	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Metoxicloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Nitrobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Pentaclorofenol	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Piridina	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Prata	mg L^{-1}	<0,001
Selênio	mg L^{-1}	<0,01
Tetracloroeto de carbono	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Tetracloroetileno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Toxafeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Tricloroetileno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND

Quadro 7. Resultados dos parâmetros obtidos para o ensaio de solubilização do resíduo analisado no presente estudo

Descrição do parâmetro	Unidade	Valores
2,4,5 – T	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4,5 – TP	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
2,4 – D	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Aldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Alumínio	mg L^{-1}	0,490
Arsênio	mg L^{-1}	<0,001
Bário	mg L^{-1}	<0,01
Cádmio	mg L^{-1}	<0,001
Chumbo	mg L^{-1}	<0,001
Cianeto	mg L^{-1}	0,120
Clordano	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Cloretos	mg L^{-1}	3,6
Cobre	mg L^{-1}	0,080
Cromo total	mg L^{-1}	<0,005
DDT	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Dieldrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Endrin	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Fenóis	mg L^{-1}	0,001
Ferro	mg L^{-1}	0,60
Fluoretos	mg L^{-1}	1,0
Heptacloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Hexaclorobenzeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Lindano	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Manganês	mg L^{-1}	0,220
Mercúrio	mg L^{-1}	<0,001
Metoxicloro	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Nitrato	mg L^{-1}	0,67
Prata	mg L^{-1}	<0,001
Selênio	mg L^{-1}	<0,01
Sódio	mg L^{-1}	ND
Sulfato	mg L^{-1}	6,7
Sulfactantes	mg L^{-1}	ND
Toxafeno	$\mu\text{g L}^{-1}$	ND
Zinco	mg L^{-1}	0,18
	mg L^{-1}	

Quadro 8. Resultados analíticos da caracterização do resíduo

Características	Unidade	Valor
pH em água	-	8,03
P	mg dm ⁻³	25,80
K	mg dm ⁻³	888,00
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,84
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,34
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,00
H + Al	cmol _c dm ⁻³	0,00
SB	cmol _c dm ⁻³	4,45
T	cmol _c dm ⁻³	4,45
T	cmol _c dm ⁻³	4,45
V	%	100,00
M	%	0,00
MO	dag kg ⁻¹	25,54
P-rem	mg L ⁻¹	31,00
Cr	mg dm ⁻³	0,00
Ni	mg dm ⁻³	0,11
Cd	mg dm ⁻³	0,00
Pb	mg dm ⁻³	0,57

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5

P, K, Fé, Zn, Mn, Cu, Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator Mehlich-1.

H + Al – Extrator acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0

MO = C. Orgânico * 1,724 – Watkley-Black

3.3. Dimensionamento, instalação e condução do experimento em campo

O acompanhamento da qualidade dos solos e água superficial e subterrânea, sob influência da aplicação dos resíduos, foi efetuado durante um período de quatorze meses, dos quais 12 meses após o início da aplicação do resíduo, por meio de amostragens mensais. No total foram realizadas 13 amostragens, se também contabilizado a amostragem de caracterização realizada antes da aplicação dos resíduos.

A qualidade da água superficial foi monitorada via amostragens à jusante e à montante do local de aplicação em cursos d'água adjacentes às áreas dos tratamentos. A cada amostragem mensal eram coletadas amostras à montante e à jusante no curso d'água denominado Córrego das Éguas, na área experimental de Três Marias-MG, e no curso d'água denominado Córrego das Pedras, em Curvelo-MG.

Para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas foi necessária a construção de poços de monitoramento (piezômetros). Em cada área experimental foram construídos dois piezômetros: um em cota inferior à área de aplicação dos resíduos, ou seja, exatamente abaixo da área de aplicação, tomando-se como referência às linhas de fluxo de escoamento superficial do terreno, e outro em cota superior, analogamente, acima da área de aplicação dos materiais.

Já para o monitoramento da qualidade do solo, em cada área experimental foram alocadas 16 parcelas, de aproximadamente 1000 m², para realização das amostragens de solo visando minimizar o efeito da heterogeneidade do solo sobre os resultados, sendo as mesmas instaladas nos locais que primeiramente receberam a aplicação dos resíduos. As parcelas com um tamanho aproximado de 1000 m². O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com parcelas pareadas, ou seja, os tratamentos (com aplicação de pó de balão ou Lama) com suas respectivas testemunhas alocadas ao lado com duas repetições e em duas profundidades de amostragem, como se pode ver no quadro 9.

Quadro 9. Esquema experimental

Local	Descrição do tratamento	Profundidade de amostragem (cm)	Tratamento
Três Marias	Pó - de - Balão	0 a 30	1
Três Marias	Pó - de - Balão	30 a 60	1
Três Marias	Testemunha Pó - de - Balão	0 a 30	2
Três Marias	Testemunha Pó - de - Balão	30 a 60	2
Três Marias	Lama	0 a 30	3
Três Marias	Lama	30 a 60	3
Três Marias	Testemunha Lama	0 a 30	4
Três Marias	Testemunha Lama	30 a 60	4
Curvelo	Pó - de - Balão	0 a 30	1
Curvelo	Pó - de - Balão	30 a 60	1
Curvelo	Testemunha Pó - de - Balão	0 a 30	2
Curvelo	Testemunha Pó - de - Balão	30 a 60	2
Curvelo	Lama	0 a 30	3
Curvelo	Lama	30 a 60	3
Curvelo	Testemunha Lama	0 a 30	4
Curvelo	Testemunha Lama	30 a 60	4

O experimento foi conduzido simultaneamente nas duas áreas experimentais durante o período de novembro de 2004 a janeiro de 2006.

Para se aplicar resíduos no solo de forma apropriada inicialmente é necessário um bom conhecimento das características do mesmo. O mesmo vale para as águas subterrâneas e superficiais, uma vez que estas podem ser afetadas pela destinação de materiais corretivos, fertilizantes ou condicionadores no solo. Assim, no período prévio ao início do experimento, entre novembro e dezembro de 2004, procedeu-se a caracterização das áreas experimentais por meio da amostragem, análise e interpretação de amostras de solo e água superficial e subterrânea.

Após as amostragens iniciais, procedeu-se a aplicação dos resíduos. Como já mencionado, foram demarcadas as parcelas experimentais de, aproximadamente, 1.000 m² dentro dos talhões, onde se iniciou a aplicação dos resíduos, e dentro das quais, foram retiradas as amostras de solo.

A aplicação dos resíduos iniciou-se a distribuição dos materiais na primeira quinzena de fevereiro de 2005 utilizando um implemento para distribuição de calcário, sem incorporação ao solo nas parcelas que receberam tratamento com a aplicação do pó ou lama (Figuras 9a, 9b, 9c e 9d). A aplicação dos materiais foi realizada na dosagem de 50 t ha⁻¹ com base nos resultados encontrados por Lima (2003).

Inicialmente, definiu-se 444,30 hectares de área experimental em Curvelo-MG e 194,65 hectares em Três Marias-MG, totalizando 638,95 hectares de experimento. No entanto, durante a execução do estudo redefiniu-se as áreas experimentais para 233,10 hectares em Curvelo-MG e 157,90 hectares em Três Marias-MG, com um novo total de 391,00 hectares. Essa decisão foi devido às dificuldades logísticas para o transporte dos resíduos até as áreas experimentais no período chuvoso. Desta maneira, foram aplicadas 19.550 toneladas de resíduos.

O solo e a água superficial e subterrânea foram amostrados antes da aplicação dos tratamentos para as análises de solo e de água. Com frequência mensal, durante o período de um ano, foram feitas novas amostragens e determinação dos mesmos parâmetros avaliados antes da aplicação. Ao final do período de amostragens os resultados foram analisados com o intuito de se verificar o impacto da aplicação dos resíduos.

As amostragens de solo foram realizadas com a utilização de trados, em local aleatório, no centro de cada parcela, sendo coletadas três amostras simples em cada parcela nas profundidades de 0 a 30 e de 30 a 60 cm (Figuras 10a e 10b). As análises de parâmetros do solo foram realizadas em laboratórios da Universidade Federal de Viçosa-MG.



Figuras 9a, 9b, 9c e 9d. Detalhe do implemento utilizado para a distribuição dos resíduos desde seu carregamento, a distribuição e da área após a distribuição.



Figuras 10a e 10b. Detalhe da amostragem de solos.

3.4. Metodologias analíticas para terminação das características no solo

Para avaliação da influência do pó de balão e da lama nas propriedades químicas do solo foram analisados: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, chumbo, manganês, cobre, cádmio, níquel, mercúrio e fenóis totais.

Com exceção dos fenóis totais, foram utilizadas metodologias visando quantificar os teores lábeis desses elementos no solo, entendendo-se que estas formas são mais sensíveis às alterações decorrentes da aplicação dos materiais. As análises seguiram metodologias do *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes* (EMBRAPA, 1999). O teor de fenóis totais foi determinado por meio de metodologia adaptada do *Official Methods of Analysis* (AOAC, 1995).

As determinações químicas dos parâmetros no solo foram efetuadas em amostras de TFSA, sendo as metodologias descritas a seguir.

Nitrogênio – Extração com mistura digestora (Sulfato de cobre, sulfato de sódio e selênio) mais ácido sulfúrico em bloco digestor e determinação com HCL 0,1 normal em absorção atômica.

Cálcio e Magnésio trocáveis extraídos em solução normal de KCL, na proporção solo solução de 1:10. Os teores dos elementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Fósforo e potássio disponíveis extraído pelo extrator Mehlich-1. O Potássio foi determinado por fotometria de chama. O fósforo, colorimetricamente, após a redução do complexo fofomolibdico, foi determinado pelo ácido ascórbico.

Enxofre – Em 10 cm de TFSA, adicionaram-se 0,5 g de carvão ativado e 25 mL de solução extratora ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e CH_3COOH , agitando por 45 minutos decantar por 5 minutos, para, em seguida, filtrar em papel de filtração lenta. A leitura foi feita em espectrofotômetro.

Manganês, Zinco, Ferro, Cromo, Chumbo, Cadmio, Níquel e Cobre extraídos pelo extrator Mehlich-1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Mercúrio – Extração com 1,000 g da amostra em banho de gelo 15 mL de uma mistura de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ 2:1 (v/v), em banho d'água a 60 °C até a suspensão ficar clara ($\pm$

30 min). Acionou-se, em banho de gelo, cerca de 15 mL de permanganato de potássio a 5% (m/v) colocar em banho d'água a 95 °C por duas horas. Após o esfriamento e filtragem adicionou-se 6 mL de cloridrato de hidroxilamina a 5% (m/v) no momento de fazer a leitura no Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Geração de Hidretos).

Os compostos fenólicos totais foram extraídos pelo método de Goldstein e Swain (1963) utilizando metanol 80% como extrator, e identificados pelo método de Folin Denis, descrito pela AOAC (1990).

3.5. Metodologias analíticas para terminação das características na água superficial e subterrânea

As amostragens e análises químicas de água, tanto subterrânea como superficial, foram realizadas pela SANEAR Engenharia Sanitária Sociedade LTDA. Os parâmetros analisados nas amostras de água foram: DQO, Zinco, pH, Cromo Trivalente, Cromo Hexavalente, Cromo total, Fenóis Totais, Cianetos, Chumbo e Ferro. As análises seguiram metodologia do *SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th. Ed., 2001. (APHA; AWWA; WEF).

As metodologias empregadas foram: pH determinado com potenciômetro. DQO pelo método titulométrico com refluxo fechado (SMEWW 5220C). Ferro solúvel, chumbo total, cromo trivalente, cromo total e zinco total determinados por absorção atômica (SMEWW 3111). Cromo hexavalente determinado pelo método colorimétrico (SMEWW 3500 Cr B). Cianetos pelo método colorimétrico do ácido barbitúrico (SMEWW 4500 CN E). Fenóis pelo método colorimétrico de extração com clorofórmio (SMEWW 5530 C).

3.6. Chumbo (Pb) no solo

Foi realizado, paralelamente, um estudo visando quantificar os teores de chumbo em diferentes profundidades no solo e assim inferir sobre as possíveis fontes deste elemento no solo, se geológicas ou antropogênicas, relacionadas ou não à aplicação dos resíduos. As amostras de solo foram coletadas em local onde não haviam sido aplicados resíduos, no dia 20 de junho de 2005, a uma distância de 10 metros do piezômetro à jusante no experimento

conduzido em Curvelo-MG. O solo foi coletado em uma trincheira onde foram retiradas amostras em diferentes profundidades (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 50 e 50 a 100 cm). As amostras foram encaminhadas ao laboratório de geoquímica ambiental da Universidade Federal de Viçosa – MG para determinação dos teores de chumbo total segundo metodologia do *Methods of Soil Analysis - Soil Science Society of América* (APHA, 1995).

3.7. Análise estatísticas dos dados obtidos

Para a análise estatística dos dados foram definidos três contrastes a serem comparados dentro de cada local, profundidade e época de amostragem: C_1 – que é a diferença entre as testemunhas, buscando constatar alguma diferença natural nos teores dos parâmetros nas áreas; C_2 – sendo a diferença entre a aplicação de pó de balão e sua respectiva testemunha, buscando constatar se houve incremento nos teores dos parâmetros em função da aplicação do pó de balão; C_3 – sendo a diferença entre a aplicação de lama e sua respectiva testemunha, buscando constatar se houve incremento nos teores dos parâmetros em função da aplicação da lama.

Dessa maneira:

$$\star C_1 = A_1 - B_1$$

A_1 = Média da “testemunha pó de balão”.

B_1 = Média da “testemunha lama”.

$$\star C_2 = A_2 - B_2$$

A_2 = Média do pó de balão.

B_2 = Média da “testemunha pó de balão”.

$$\star C_3 = A_3 - B_3$$

A_3 = Média da Lama.

B_3 = Média da “testemunha lama”.

Para verificar se os contrastes eram significativos utilizou-se o teste F a 10 % de probabilidade com auxílio do programa de análises estatísticas SAEG versão 5.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Monitoramento ambiental

4.1.1. Águas subterrâneas

4.1.1.1. Área experimental de Curvelo-MG

Os valores das variáveis analisadas nas amostras de água subterrânea se encontram no quadro 10, exceto os dados relativos ao piezômetro à montante da área experimental em função de não se ter encontrado água no mesmo. É comum a ocorrência de água quando da perfuração e, em amostragens posteriores os poços não apresentarem água, principalmente, caso seja época de seca, voltando-se a encontrar água em épocas chuvosas. Isto ocorre em função do rebaixamento do nível piezométrico. Não foi possível a construção de outro poço para amostragem devido ao fato de que o estudo das linhas de fluxo, baseado na topografia do local, ter mostrado que, a não ser naquela área onde foi construído o poço, não haveria posição à montante da área de aplicação.

Os parâmetros além dos limites estabelecidos pela DN 010/86 COPAM art. 5º foram sublinhados para facilitar a discussão e compreensão dos resultados. Os grafados sem sublinhar, de acordo com os limites regulamentares, por si sugerem água de qualidade satisfatória e não foram discutidos.

O pH da água, em todas as amostragens, se apresentou inferior ao mínimo regulamentar, inclusive na amostragem de caracterização, ou seja, antes da aplicação dos materiais (Figura 11). Este resultado é normal para o padrão de solos da região, desenvolvidos em rochas do grupo Bambuí, formação Paraopeba, basicamente ardósias e metassiltitos, intensamente intemperizados e que apresentam baixo pH e elevado valor de alumínio na solução. Estes valores aparentemente refletem única e exclusivamente a geologia e a pedologia locais, não estando, portanto, relacionados à aplicação dos materiais em questão. Tecnicamente admite-se que o pH natural da águas varia de 4 a 9. Adotando-se estes valores o pH da água está dentro dos limites técnicos.

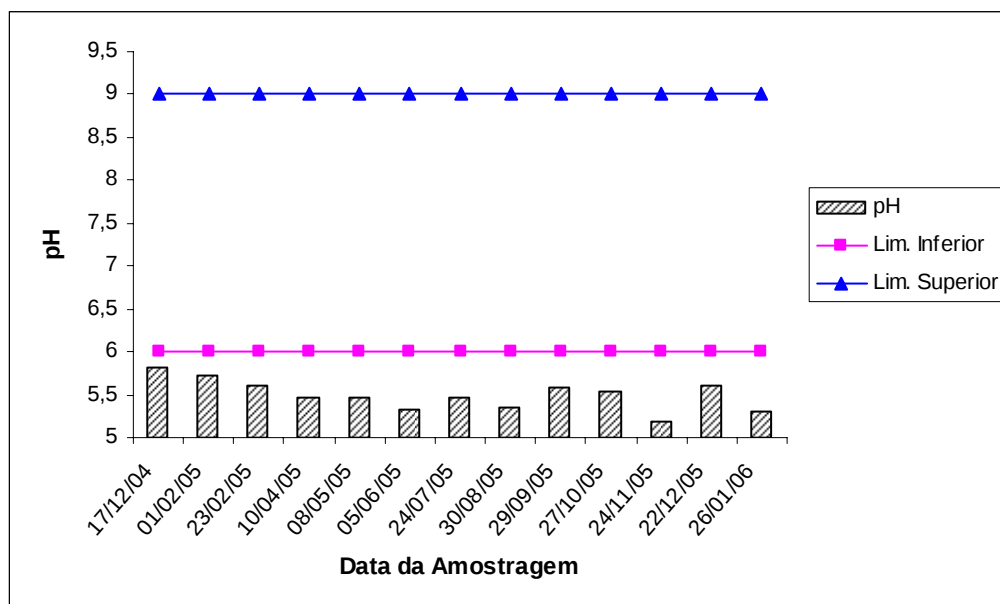


Figura 11. pH da água no piezômetro à jusante no experimento em Curvelo-MG.

Quadro 10. Temperatura do ar e água, pH (in loco), demanda química de oxigênio (DQO), cianetos, índice de fenóis, erro solúvel, chumbo total, cromo Hexavalente, cromo trivalente, cromo total e zinco total para as amostras coletadas no piezômetro à jusante da área de aplicação dos materiais em **Curvelo-MG**

Parâmetro	Unidade	Data de amostragem													Limite
		17/12/04	01/02/05	23/02/05	10/04/05	08/05/05	05/06/05	24/07/05	30/08/05	29/09/05	27/10/05	24/11/05	22/12/05	26/01/06	
Temp. do Ar	°C	25,00	25,00	27,50	25,50	21,50	24,50	22,50	29,00	29,00	30,00	26,00	21,00	30,00	--
Temp. da Água	°C	23,00	22,50	23,00	22,00	19,00	23,00	23,00	22,50	22,50	24,00	22,50	22,00	21,00	--
pH (in loco)	-	5,82	5,72	5,60	5,47	5,46	5,33	5,47	5,35	5,58	5,53	5,19	5,61	5,31	6,0 a 9,0
DQO	mg/L	8,28	<1,00	7,92	23,33	9,60	6,34	16,64	5,45	11,45	7,49	5,30	3,92	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,3
Chumbo Total	mg/L	0,61	0,05	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	0,43	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cromo Total	mg/L	0,43	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	0,49	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18

Pode ser observado que a DQO (Figura 12) apresentou, na maioria das amostragens, valor acima do limite regulamentado, inclusive na amostragem de caracterização, mostrando que a água subterrânea da região contém material orgânico passível de ser oxidado pelo dicromato de potássio. A DQO é um parâmetro que estima o conteúdo de matéria orgânica em suspensão em uma determinada amostra de água ou efluente pela oxidação com o dicromato de potássio. Apesar de ser bastante recomendável principalmente pela sua rapidez de obtenção (2 a 3 horas), apresenta como desvantagens: I) oxidação, no processo de avaliação da DQO, tanto da fração biodegradável, quanto da fração inerte presentes na amostra; II) certos constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no resultado (VON SPERLING, 1995). Estes possíveis erros associados a DQO podem levar a uma superestimativa do conteúdo deste parâmetro e, por consequência, do conteúdo de matéria orgânica presente nas amostras avaliadas (PERALTA-ZAMORA et al., 2005). Como já mencionado anteriormente as amostras de água subterrâneas apresentaram teores elevados de material em suspensão, por consequência estes valores de DQO acima dos limites permissíveis podem estar associado a oxidação de espécies inorgânicas presentes no material em suspensão nas amostras de água fato tido como de ocorrência natural não podendo ser atribuído, por consequência, a aplicação dos materiais na área.

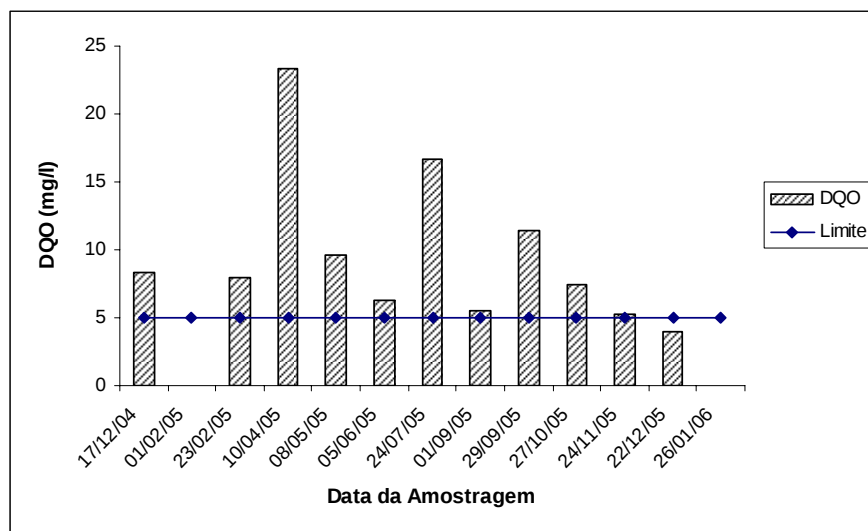


Figura 12. DQO no piezômetro à jusante no experimento em Curvelo-MG.

Pode ser observado que o chumbo total (Figura 13) não foi detectado, exceto na amostragem prévia de caracterização e nas duas primeiras amostragens após a aplicação dos materiais, quando se começou a realizar a filtragem das amostras de água para determinação dos teores de metais totais. Portanto, este fato ressalta que o chumbo que vinha sendo detectado se encontrava predominantemente em formas insolúveis: adsorvido de forma específica aos argilominerais ou mesmo fazendo parte, de forma constitutiva, dos argilominerais presentes em suspensão nas amostras de água subterrânea.

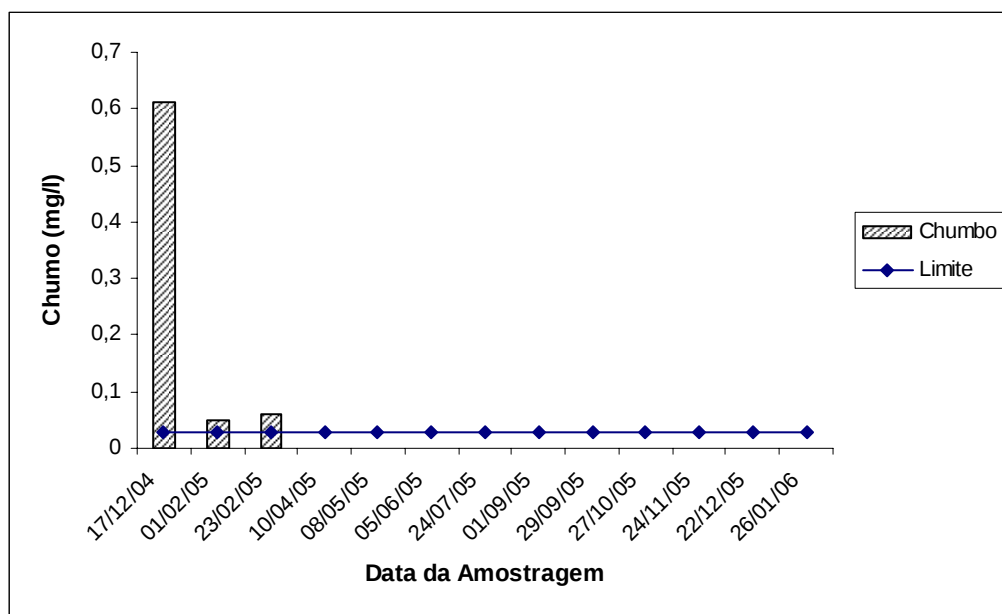


Figura 13. Chumbo total no piezômetro à jusante no experimento em Curvelo-MG.

Em análises adicionais realizadas para este trabalho em amostras de água subterrânea e solos (vide seção 4.2. – Chumbo no solo), constata-se que a presença do chumbo nas três amostragens iniciais de água subterrâneas é atribuída a presença de quantidades relativamente altas de material em suspensão, portanto, não podendo ser atribuída a aplicação dos resíduos nas áreas.

4.1.1.2. Área experimental de Três Marias-MG

Os valores dos parâmetros analisados nas amostras de água subterrânea em Três Marias-MG se encontram no quadro 11.

Os parâmetros fora dos limites estabelecidos pela DN 010/86 COPAM art. 5º foram sublinhados para facilitar a discussão e compreensão dos resultados.

Nas Figuras 14, 15, e 16 são apresentados os comportamentos de pH, DQO e chumbo total nas amostras de água subterrânea em Três Marias-MG.

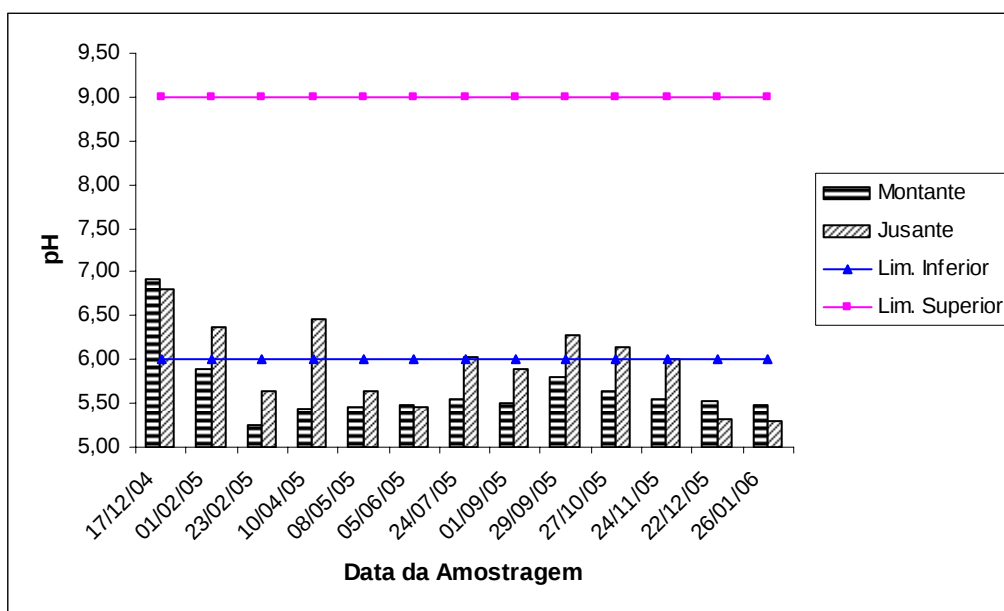


Figura 14. pH nos piezômetros à montante e à jusante no experimento em Três Marias-MG.

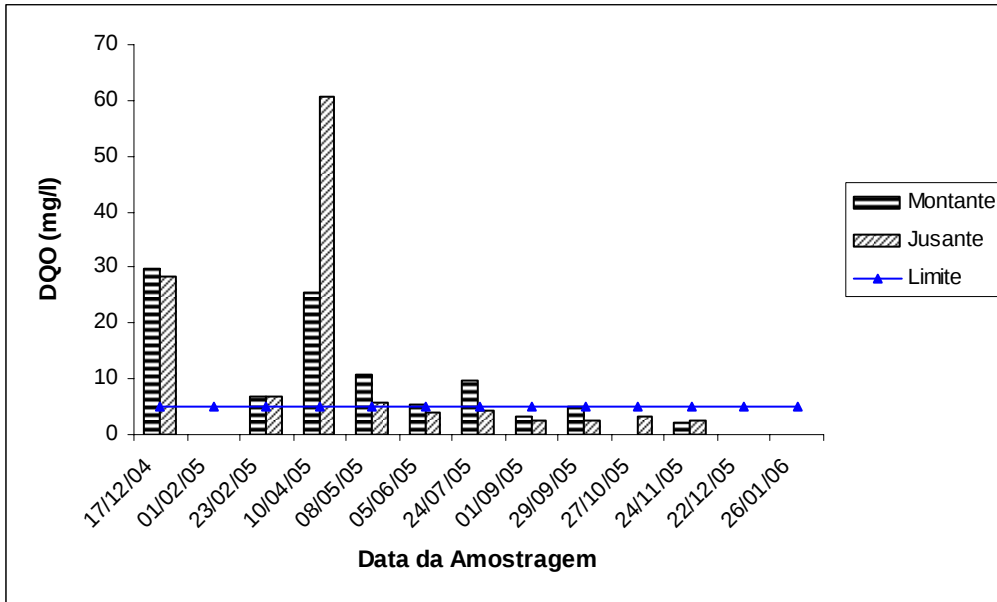


Figura 15. DQO nos piezômetros à montante e à jusante no experimento em Três Marias-MG.

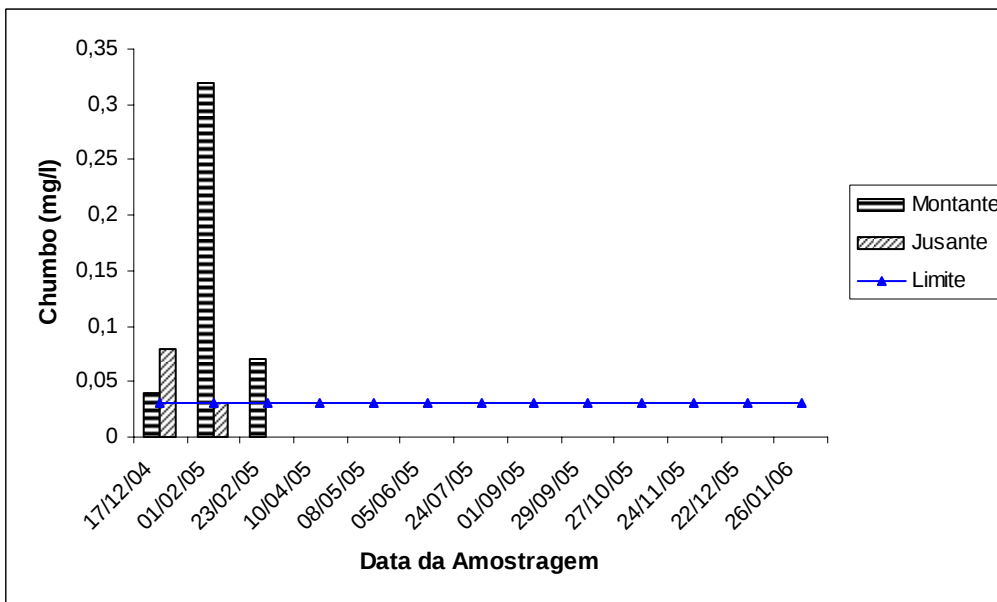


Figura 16. Chumbo total nos piezômetros à montante e à jusante no experimento em Três Marias-MG.

Os resultados encontrados são justificados pelas mesmas razões expostas para a área experimental de Curvelo. Há de se ressaltar que a geologia local está relacionada a rochas do grupo Bambuí, formação Três Marias constituída por siltitos, folhelhos, ardósias, margas e arenitos finos, e solos também bastante intemperizados e de baixo pH

Quadro 11. Temperatura do ar e água, pH (*in loco*), demanda química de oxigênio (DQO), cianetos, índice de fenóis, erro solúvel, chumbo total, cromo Hexavalente, cromo trivalente, cromo total e zinco total para as amostras coletadas no piezômetro à montante e à jusante da área de aplicação dos materiais em **Três Marias-MG**

Parâmetro	Unidade	Data amostragem													Limite
		17/12/200	01/02/05	23/02/05	10/04/05	08/05/05	05/06/05	24/07/05	30/08/05	29/09/05	27/10/05	24/11/05	22/12/05	26/01/06	
Piezômetro à Montante															
Tem. do Ar	°C	22,00	23,00	35,00	23,50	20,00	24,00	23,50	26,50	18,00	24,00	22,00	28,50	19,00	--
Tem. da Água	°C	23,50	20,00	26,00	23,00	23,00	19,00	24,00	26,00	24,00	23,00	24,00	22,00	23,50	--
pH (in loco)	-	6,92	5,90	5,24	5,44	5,46	5,49	5,54	5,51	5,80	5,65	5,55	5,52	5,48	b, U a a n
DQO	mg/L	29,81	<1,00	6,84	25,39	10,75	5,28	9,80	3,37	4,97	<1,00	2,16	<1,00	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	0,16	<0,05	<0,05	0,36	<0,05	<0,05	0,20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,3
Chumbo Total	mg/L	0,04	0,32	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,08	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Piezômetro à Jusante															
Tem. do Ar	°C	28,00	23,50	34,00	26,00	23,00	24,00	27,00	33,00	21,50	26,00	21,00	29,00	24,00	--
Tem. da Água	°C	24,00	23,50	25,50	21,50	23,00	20,00	25,00	25,50	24,50	23,50	23,00	23,00	23,00	--
pH (in loco)	-	6,80	6,36	5,63	6,47	5,65	5,46	6,03	5,90	6,29	6,15	6,00	5,31	5,29	b, U a a n
DQO	mg/L	28,34	<1,00	6,66	60,57	5,76	3,87	4,31	2,45	2,38	3,07	2,35	<1,00	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,43	0,89	3,54	3,3	<0,05	0,1	<0,05	0,3
Chumbo Total	mg/L	0,08	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,50
Cromo Total	mg/L	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	0,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,10	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18

4.1.2. Águas superficiais

4.1.2.1. Área experimental de Curvelo-MG

Os resultados das amostragens são expressos no quadro 12.

Pode-se perceber que os parâmetros DQO e ferro solúvel apresentaram-se fora dos limites estabelecidos pela DN 010/86 COPAM art. 5º na amostragem de caracterização, ou seja, evidenciando que estes parâmetros naturalmente se encontram acima dos limites estabelecidos pela legislação. Após o início da aplicação dos resíduos estes parâmetros passaram a apresentar valores dentro dos limites e nas últimas amostragens voltaram a apresentar valores acima dos limites determinados pela resolução. Todavia, se observa, nas amostragens em que se verificam valores acima dos limites estabelecidos, que este comportamento se apresenta tanto à montante como à jusante. Portanto, esse comportamento pode ser considerado de ocorrência natural, não estando relacionado à aplicação dos materiais.

O Fe por se tratar de um elemento abundante no planeta, é comum a sua presença em águas (VON SPERLING, 1995). O ferro está presente, em quantidades expressivas, em muitos tipos solos, notadamente, em solos de clima tropical, como é o caso do Brasil. Conseqüentemente, a sua presença também será constatada em teores acima dos estabelecidos em águas sob influência de solos com teores elevados deste elemento (APOITIA et al., 2004; FILLELA, 1993).

As Figuras 17 e 18 apresentam o comportamento da DQO e do ferro solúvel nas amostragens de água superficial em Curvelo-MG.

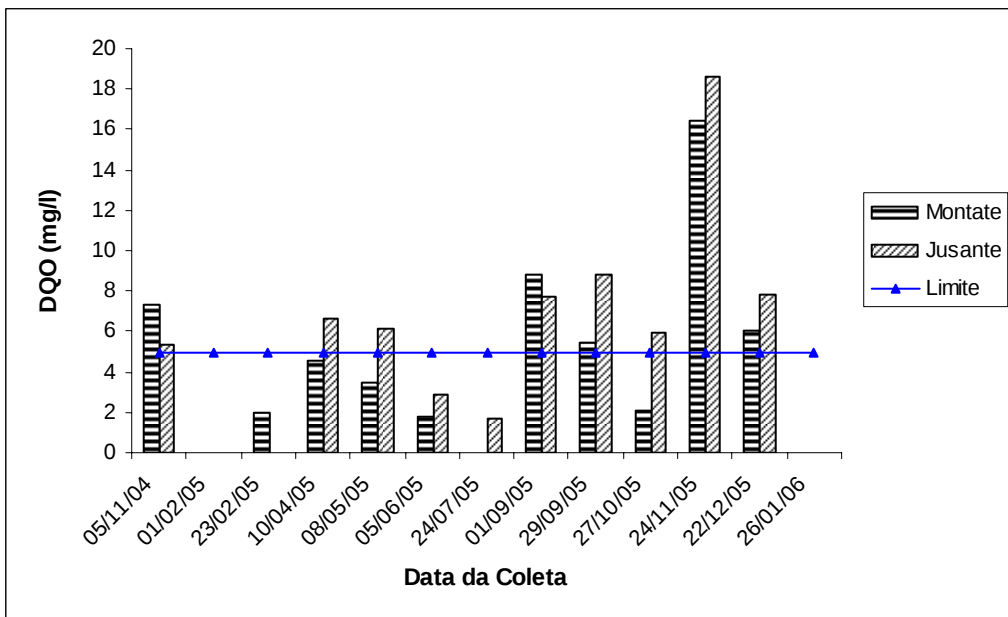


Figura 17. DQO total nos pontos à montante e à jusante no experimento em Curvelo-MG.

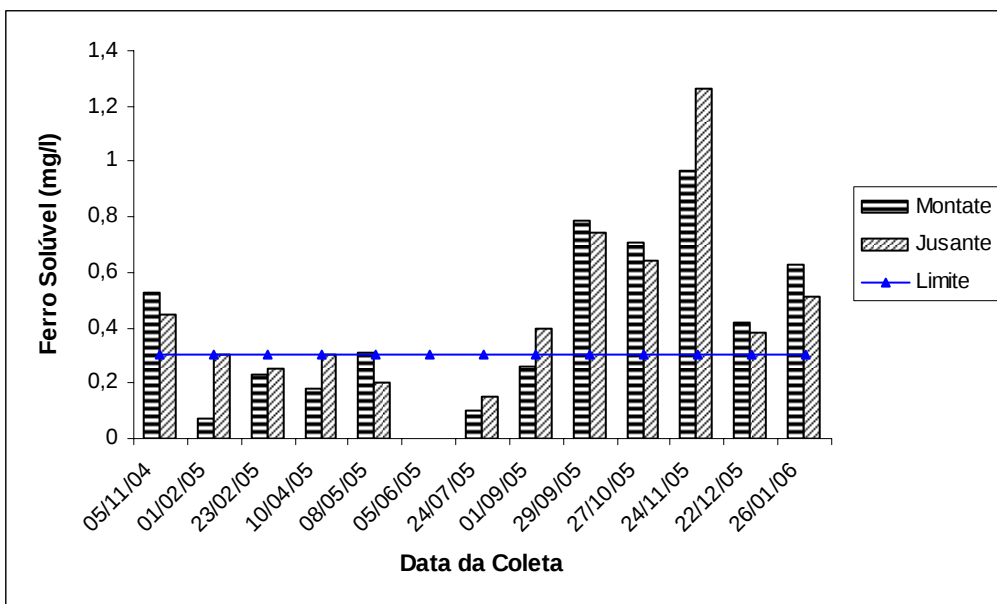


Figura 18. Ferro solúvel nos pontos à montante e à jusante no experimento em Curvelo-MG.

Quadro 12. Temperatura do ar e água, pH (*in loco*), demanda química de oxigênio (DQO), cianetos, índice de fenóis, erro solúvel, chumbo total, cromo Hexavalente, cromo trivalente, cromo total e zinco total para as amostras de água superficial coletadas à montante e à jusante da área de aplicação dos materiais em **Curvelo-MG**

Parâmetro	Unidade	Data amostragem													Limite
		05/11/04	01/02/05	23/02/05	10/04/05	08/05/05	05/06/05	24/07/05	30/08/05	29/09/05	27/10/05	24/11/05	22/12/05	26/01/06	
Ponto de Coleta à Montante															
Tem. do Ar	°C	31,50	25,50	27,00	23,00	21,50	24,50	24,00	31,00	23,50	29,50	24,00	24,00	26,50	--
Tem. da Água	°C	24,00	23,50	22,50	21,00	19,50	20,50	19,50	21,00	20,50	23,50	22,50	23,50	23,00	--
pH (in loco)	-	7,60	7,14	7,16	6,74	7,51	7,87	7,32	7,43	7,50	7,51	6,51	7,11	7,30	b, U a q n
DQO	mg/L	5,38	<1,00	<1,00	6,66	6,12	2,88	1,69	8,84	5,40	2,11	16,46	6,08	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	0,53	0,07	0,23	0,18	0,31	<0,05	0,10	0,26	0,79	0,71	0,97	0,42	0,63	0,3
Chumbo Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Ponto de Coleta à Jusante															
Tem. do Ar	°C	26,00	26,50	30,00	28,00	19,00	24,50	22,00	26,00	24,00	30,00	24,00	29,00	28,00	--
Tem. da Água	°C	23,50	23,50	22,00	21,00	19,50	19,50	16,00	19,50	21,00	23,00	22,50	24,00	22,00	--
pH (in loco)	-	7,40	6,98	7,01	7,05	7,77	7,55	7,25	7,56	7,55	7,40	6,51	7,08	7,26	b, U a q n
DQO	mg/L	7,28	<1,00	1,98	4,51	3,46	1,80	<1,00	7,68	8,86	5,95	18,63	7,84	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	0,45	0,3	0,25	0,3	0,2	<0,05	0,15	0,40	0,74	0,64	1,26	0,38	0,51	0,3
Chumbo Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	0,18

4.1.2.2. Área experimental de Três Marias-MG

Os resultados das análises encontram-se no quadro 13.

Os resultados em desacordo com os valores regulamentares estão grifados e foram os únicos discutidos, partindo-se do pressuposto que os valores em acordo com a legislação apresentam água de qualidade satisfatória naquele aspecto.

Os mesmos argumentos utilizados para os resultados obtidos em Curvelo-MG novamente explicam os resultados encontrados em Três Marias-MG.

As Figuras 19 e 20 apresentam o comportamento do pH (in loco) e da DQO nas amostragens em Três Marias-MG.

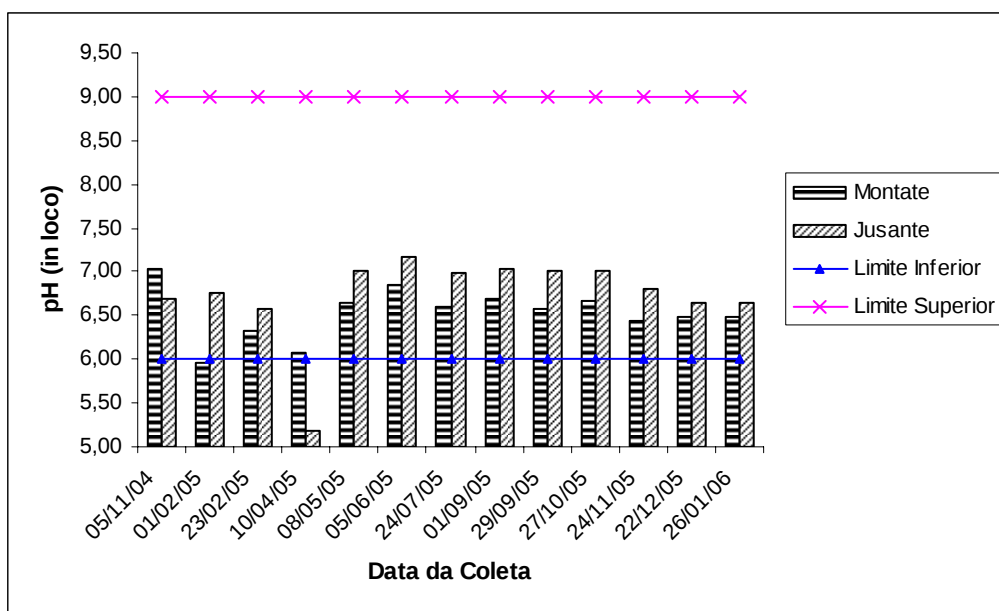


Figura 19. pH nos pontos à montante e à jusante no experimento em Três Marias-MG.

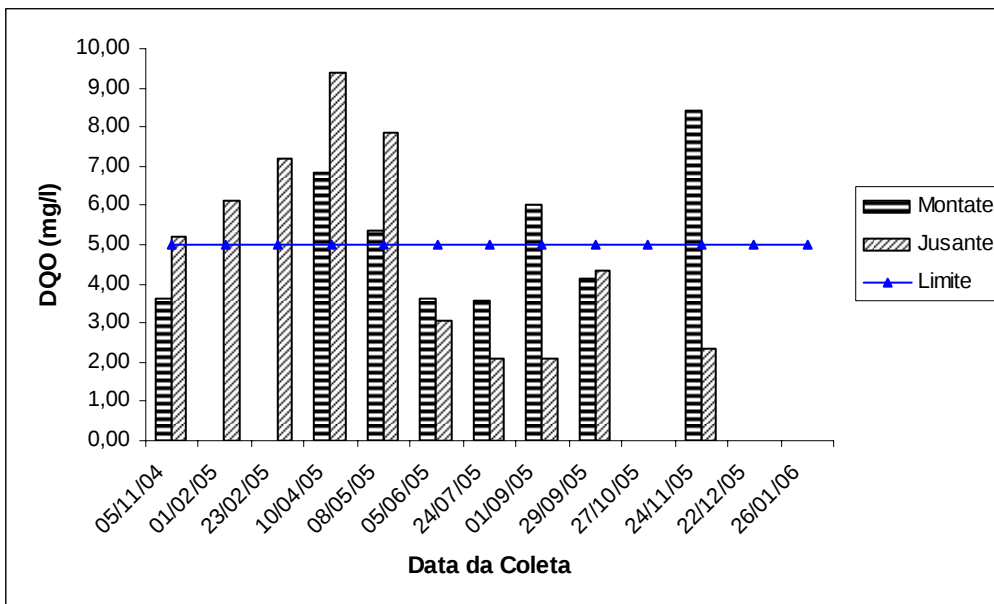


Figura 20. DQO nos pontos à montante e à jusante no experimento em Três Marias-MG.

4.1.3. Solos

Os dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre, chumbo e mercúrio se encontram nas figuras 21 a 68. níquel, cromo, cádmio e fenóis totais não foram detectados em nenhuma das amostragens. Os elementos detectados nos solos apresentaram-se em teores considerados como de ocorrência natural nos solos (SILVA et al., 2001).

Nos quadros 14 e 16 se encontram os contrastes que foram significativos a 10 % de probabilidade para a área experimental de Três Marias-MG para macronutrientes e metais pesados, respectivamente, e nos quadros 15 e 17 se encontram os contrastes que foram significativos a 10 % de probabilidade para a área experimental de Curvelo-MG para macronutrientes e metais pesados, respectivamente, em cada profundidade e época de amostragem.

A maioria dos contrastes não foi significativo pelo teste F a 10 % de probabilidade. Dos significativos observa-se que, a maioria das diferenças, tanto em Três Marias-MG como em Curvelo-MG, ocorreu no contraste C_1 (Quadros 14, 15, 16 e 17). Portanto, evidenciando uma variação natural dos teores destes elementos nas áreas experimentais,

uma vez que esse contraste avalia a diferença nos teores dos parâmetros avaliados entre as testemunhas. Este comportamento é esperado, uma vez que o solo é uma massa heterogênea e a sua composição química pode apresentar grande variação espacial em função da variação das diferentes propriedades do solo em curtas distâncias (JENNY, 1941; TRAGMAR et al., 1985; WOPEREIS et al., 1988; ZANINI & BONIFÁCIO, 1991).

Quadro 13. Temperatura do ar e água, pH (*in loco*), demanda química de oxigênio (DQO), cianetos, índice de fenóis, erro solúvel, chumbo total, cromo Hexavalente, cromo trivalente, cromo total e zinco total para as amostras de água superficial coletadas à montante e à jusante da área de aplicação dos materiais em **Três Marias-MG**.

Parâmetro	Unidade	Data da amostragem													Limite
		05/11/04	01/02/05	23/02/05	10/04/05	08/05/05	05/06/05	24/07/05	30/08/05	29/09/05	27/10/05	24/11/05	22/12/05	26/01/06	
Ponto de Coleta à Montante															
Tem. do Ar	°C	30,00	23,50	34,00	23,50	19,50	19,00	21,00	27,00	18,00	24,00	21,00	21,00	24,00	--
Tem. da Água	°C	24,00	22,00	25,00	20,00	18,00	18,50	18,00	18,00	19,00	22,00	21,00	21,00	21,00	--
pH (in loco)	-	7,04	5,95	6,32	6,08	6,64	6,84	6,59	6,70	6,57	6,66	6,44	6,48	6,49	6,0 a 9,0
DQO	mg/L	3,60	<1,00	<1,00	6,86	5,38	3,60	3,57	6,02	4,11	<1,00	8,43	<1,00	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	<0,06	<0,05	<0,13	0,08	0,09	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	0,1	0,3
Chumbo Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Ponto de Coleta à Jusante															
Tem. do Ar	°C	25,00	22,00	32,00	25,00	23,00	20,00	23,00	27,00	21,50	26,00	21,00	22,00	24,00	--
Tem. da Água	°C	23,00	20,50	25,50	23,00	23,00	19,00	17,50	19,00	19,50	22,00	21,50	21,00	21,00	--
pH (in loco)	-	6,69	6,76	6,58	5,19	7,00	7,18	6,99	7,03	7,02	7,00	6,80	6,65	6,64	6,0 a 9,0
DQO	mg/L	5,20	6,14	7,20	9,41	7,87	3,06	2,07	2,11	4,32	<1,00	2,35	<1,00	<1,00	5
Cianetos	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Índice de Fenóis	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Ferro Solúvel	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,06	<0,05	0,08	<0,05	0,11	<0,05	0,3
Chumbo Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cromo Trivalente	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18
Zinco Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18

Quadro 14. Contrastes significativos a 10 % de probabilidade para macronutrientes no experimento instalado em Três Marias-MG

PARAMETRO	PROFUNDIDADE	AMOSTRAGEM	CONTRASTE		
			C1	C2	C3
N	0 a 30	11	-0,00927		
N	0 a 30	12			0,01546
N	30 a 60	12			0,01082
P	0 a 30	10		2,29500	
P	0 a 30	12	1,59500		
P	30 a 60	12	0,08500	-1,17000	
K	0 a 30	3			5,77875
K	0 a 30	7	-0,01490		-5,98410
K	0 a 30	9			-8,53500
K	0 a 30	10			5,02000
K	0 a 30	12			6,02500
K	0 a 30	13	1,00500		
K	30 a 60	11			6,52500
Mg	0 a 30	6	0,00000		
Mg	0 a 30	9		-0,01000	
Mg	0 a 30	11			0,01000
Mg	0 a 30	12		-0,01000	0,01500
Mg	30 a 60	12		-0,01000	

Quadro 15. Contrastes significativos a 10 % de probabilidade para macronutrientes no experimento instalado em Curvelo-MG

PARAMETRO PROFUNDIDADE AMOSTRAGEM			CONTRASTE		
			C1	C2	C3
N	1	4	0,02567		
N	1	5	0,02179		
N	2	5	0,03945	0,01030	
N	2	6	0,02988		
P	1	4	-0,16200		
P	1	5		0,15000	
P	1	6		-0,20000	
P	1	10		-0,17500	
P	1	11			-0,17500
P	2	1		-0,20314	
P	2	3	-0,02500		0,15000
P	2	6	0,05000	-0,15000	
P	2	7			-0,17850
P	2	13	0,00000	-0,17000	
K	1	10			-27,92500
K	1	12		30,63000	
Mg	1	4			0,02329
Mg	1	9		0,03500	0,02000
Mg	1	10		0,03000	
Mg	1	11	-0,02000		
Mg	1	12			0,03500
Mg	1	13		0,04000	
S	1	2	-1,79100	-13,25340	
S	1	3	6,35805	14,62650	
S	1	6	11,46240	14,74590	

Quadro 16. Contrastes significativos a 10 % de probabilidade para metais pesados no experimento instalado em Três Marias-MG

PARAMETRO	PROFUNDIDADE	AMOSTRAGEM	CONTRASTE		
			C1	C2	C3
Zn	0 a 30	3	-0,79050		
Zn	0 a 30	6	0,23000		
Zn	0 a 30	7	-5,95000		
Zn	30 a 60	1	-8,45078		
Zn	30 a 60	3	-7,46563		
Zn	30 a 60	4	-4,23500		
Zn	30 a 60	7	-9,66000		
Zn	30 a 60	8	-8,79000		
Fe	0 a 30	13	4,05000	-31,15000	
Fe	30 a 60	10		17,69500	
Fe	30 a 60	11		-16,40000	
Mn	0 a 30	2	0,63750		
Mn	0 a 30	5	0,61000		
Mn	0 a 30	9	0,25000		
Mn	30 a 60	7	1,15250		
Mn	30 a 60	9	1,05000		
Mn	30 a 60	10	-0,94500		
Mn	30 a 60	11	-0,77500		
Pb	0 a 30	2	-0,41264		
Pb	0 a 30	3	-0,41012		
Pb	0 a 30	7	-0,32700		
Pb	0 a 30	8	-0,27250		
Pb	0 a 30	9	-0,24500		
Pb	30 a 60	3	-0,48150		
Pb	30 a 60	4	-0,17500		
Pb	30 a 60	8	-0,23300		-0,32700
Pb	30 a 60	9	-0,10700		-0,54800
Hg	0 a 30	1	0,12411		
Hg	0 a 30	10	-0,03500		
Hg	30 a 60	7	0,06750		
Hg	30 a 60	9		0,09000	

Quadro 17. Contrastes significativos a 10 % de probabilidade para metais pesados no experimento instalado em Curvelo-MG

PARAMETRO	PROFUNDIDADE	AMOSTRAGEM	CONTRASTE		
			C1	C2	C3
Zn	1	10	-1,39500		-5,72500
Fe	1	10			-13,28000
Fe	2	8		14,30000	
Fe	2	10	-8,17000		
Mn	1	1	-4,86960		
Mn	1	2	-3,98910		
Mn	1	3	-3,13680		
Mn	1	4	-6,10610		
Mn	1	5	-3,90110		
Mn	1	6	-4,33670		
Mn	1	8	-5,47000		
Mn	1	12		-6,40000	
Mn	1	13	4,00000		
Mn	2	8	-1,87000		
Mn	2	13	2,90000	-7,50000	
Cu	1	4	0,25425		
Cu	1	10	0,04000		-0,52000
Pb	1	4	-0,05400		
Pb	1	5	-0,09600		
Pb	1	6	-0,69000		
Pb	1	12		0,64000	
Pb	2	3	-0,16475		
Pb	2	4	-0,15650		
Pb	2	5	-0,23725		
Pb	2	6	-0,21125		
Pb	2	7	-0,23325		
Pb	2	13		0,58500	0,60000
Hg	1	10		0,13500	
Hg	2	10	0,19500	0,12500	

4.1.3.1. Macronutrientes

4.3.3.1.1. Três Marias-MG

Na avaliação do efeito da aplicação dos materiais sobre os teores de macronutrientes em Três Marias-MG (Quadro 14) se observa que não há uma continuidade de amostragens com contrastes C_2 e C_3 significativos positivos ao longo de uma série consecutiva de amostragens, fato este que evidenciaria um efeito da aplicação dos materiais, uma vez que estes contrastes avaliam o efeito da aplicação dos resíduos no solo.

Observa-se ainda que os contrastes C_2 e C_3 significativos se alternam entre valores positivos e negativos, ou seja, em algumas amostragens os tratamentos com aplicação dos materiais apresentam valores maiores que as testemunhas e em outras amostragens as testemunhas apresentam valores maiores que os tratamentos com aplicação dos materiais. Estes comportamentos evidenciam que aplicação do pó de balão e da lama não teve efeito significativo sobre os teores desses elementos no solo. Esses resultados relativos aos macronutrientes no solo em Três Marias-MG podem estar relacionados a alta mobilidade destes elementos no solo sendo rapidamente absorvidos pelas plantas e pela característica arenosa dos solos da região, desta maneira não evidenciando um possível efeito fertilizante da aplicação dos materiais no solo.

4.1.3.1.2. Curvelo-MG

Na avaliação do efeito da aplicação dos materiais sobre os teores de macronutrientes em Curvelo-MG (Quadro 15) se observa que, com exceção do magnésio, não há uma continuidade de amostragens com contrastes C_2 e C_3 significativos positivos a longo de uma série consecutiva de amostragens como observado no experimento em Três Marias-MG. No experimento em Curvelo-MG se tem um solo com textura argilosa. Todavia, em função das características da classe de solo predominante (Latosolos) os argilominerais formam estruturas granulares de alta estabilidade se comportando de maneira similar a um solo arenoso. Desta maneira, não se verificou um efeito expressivo da aplicação dos resíduos sobre os teores de macronutrientes por apresentarem alta mobilidade nos solos

com exceção do magnésio que apresentou alguns contrastes C_2 e C_3 significativos positivos, evidenciando então um possível efeito da aplicação dos resíduos sobre os teores desse elemento no solo em Curvelo-MG.

4.1.3.2. Metais pesados e micrunutrientes

Comparando-se os teores de alguns metais pesados encontrados no pó de balão e na lama do coletor com os teores de metais pesados encontrados em corretivos e fertilizantes recomendados para uso na agricultura no Brasil (Quadro 18) constata-se que todos os fertilizantes e corretivos citados apresentam teores de metais pesados superiores aos encontrados no pó de balão e na lama do coletor.

Quadro 18. Teores totais de metais pesados em corretivos e fertilizantes recomendados para uso no Brasil e no pó de balão

PRODUTOS	Mn	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr
	mg kg ⁻¹						
Calcário - Unaí(MG)	91,0	16,4	3,2	23,3	12,6	4,8	0,4
Calcário - Arcos(MG)	53,0	8,0	2,4	27,3	78,1	2,6	0,3
Calcário - Itálva(RJ)	46,0	11,5	3,0	26,2	15,2	4,3	0,3
Calcário - Poté (MG)	149,0	19,0	2,6	23,3	35,7	11,0	0,3
Calcário - Coromandel (MG)	188,0	17,1	3,1	27,9	12,5	4,8	0,6
Calcário - Bocaiúva (MG)	201,0	12,3	3,4	27,2	39,9	2,6	0,1
Calcário - Formiga (MG)	221,0	10,7	2,3	25,3	17,0	2,5	0,3
N-P-K + ZN (0-30-15 + 0,2%)	306,0	20,6	5,4	55,4	2220,0	32,6	0,4
N-P-K + ZN (0-20-20 + 0,4%)	176,0	13,8	2,7	37,7	3115,0	33,6	0,6
N-P-K + ZN (2-28-8 + 0,5%)	792,0	30,3	14,6	275,0	5385,0	72,9	1,6
Termofosfato Yoorin	2220,0	3300,0	3,1	65,3	374,5	44,1	9,7
Apatita-de-araxá	3915,0	117,7	6,7	36,1	740,5	72,1	1,9
Supertriplo + Cu	300,0	24,6	4,4	17,9	810,0	4265,0	0,9
Pó de Balão	160,0	11,6	<0,5	81,0	39,9	3,3	6,4

A legislação em vigor em outros países regulamenta a presença de metais pesados no composto de lixo urbano estabelecendo um limite máximo desses elementos para que esse adubo possa ser empregado na agricultura (Quadro 19). Esse conceito permite o acúmulo de metais pesados no solo, até um limite máximo previamente estabelecido pela legislação. Comparando-se os teores totais de metais pesados encontrados no pó de balão e na lama de coletor com os admissíveis para o uso de composto de lixo constata-se que os teores de metais pesados encontrados no pó e lama se encontram abaixo dos limites

estabelecidos pela legislação estrangeira. Ressalta-se que o composto de lixo é recomendado em doses semelhantes, e muitas vezes superior, a que está sendo proposta para o uso do pó e da lama.

Quadro 19. Teores totais permissíveis de metais pesados (mg kg^{-1}) no composto de lixo urbano em alguns países e teores de metais pesados encontrados no pó de balão e lama

País	Metais pesados						
	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Estados Unidos	500	500	1000	1000	100	10	5
França	800	-	-	-	200	8	8
Áustria	900	1000	1500	300	200	6	4
Itália	500	600	2500	500	200	10	10
Suíça	150	150	500	-	-	3	3
Pó ou Lama	81	3,3	3,9	6,4	11,6	0,01	<1,25

Fonte: adaptada de Grossi (1993).

4.1.3.2.1. Três Marias-MG

Os teores de metais pesados em Três Marias-MG não foram influenciados pela aplicação dos materiais. No quadro 16 se observam poucas amostragens que apresentaram contrastes C_2 e C_3 significativos não havendo uma seqüência de amostragens com contrastes C_2 e C_3 significativos positivos para nenhum dos metais pesados avaliados. Das poucas amostragens que apresentaram contrastes C_2 e C_3 significativos não se pode atribuir esse efeito a aplicação dos materiais em função destes contrastes significativos serem pontuais, ou seja, foram observados em poucas amostragens, e se alternaram entre valores positivos e negativos, ou seja, em algumas amostragens as testemunhas apresentaram valores superiores aos dos tratamentos com aplicação dos resíduos e em outras se observou o inverso. Essas diferenças estatísticas observadas entre os tratamentos com aplicação dos resíduos e suas respectivas testemunhas foram atribuídas, então, à variação espacial dos teores de metais pesados no solo, fato este tido como de ocorrência natural no ambiente. Portanto, a aplicação dos materiais não alterou significativamente os teores disponíveis de metais pesados no solo em Três Marias-MG.

4.1.3.2.2. Curvelo-MG

No quadro 17 estão apresentados as amostragens que apresentaram pelo menos um dos contrastes significativos dos desdobramentos estatísticos para o experimento em Curvelo-MG. Observa-se um comportamento similar ao que ocorreu no experimento em Três Marias-MG, ou seja, não se verificou uma sequência de amostragens com contrastes C_2 e C_3 significativos para nenhum dos metais pesados avaliados sendo estas diferenças entre os tratamentos pontuais e estando, como citado acima, relacionadas à variação espacial dos teores desses elementos no solo. Portanto, a aplicação dos materiais não alterou significativamente os teores disponíveis de metais pesados no solo em Curvelo-MG.

NITROGÊNIO

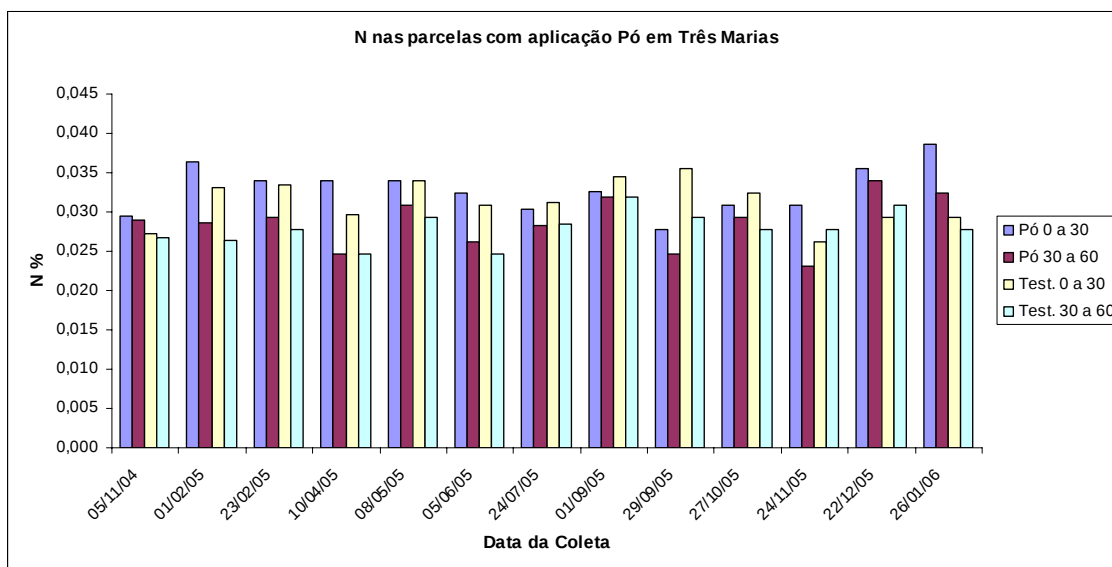


Figura 21. Nitrogênio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

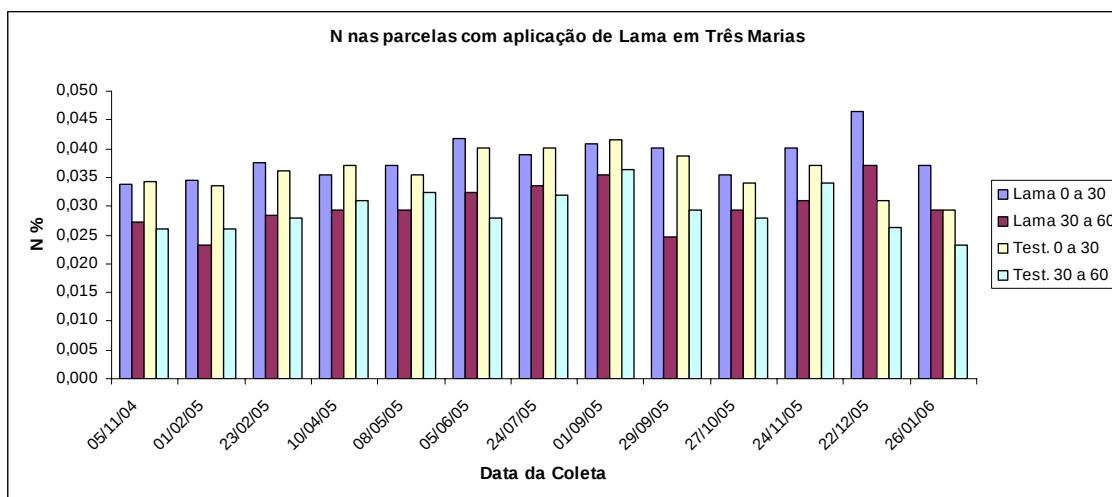


Figura 22. Nitrogênio nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

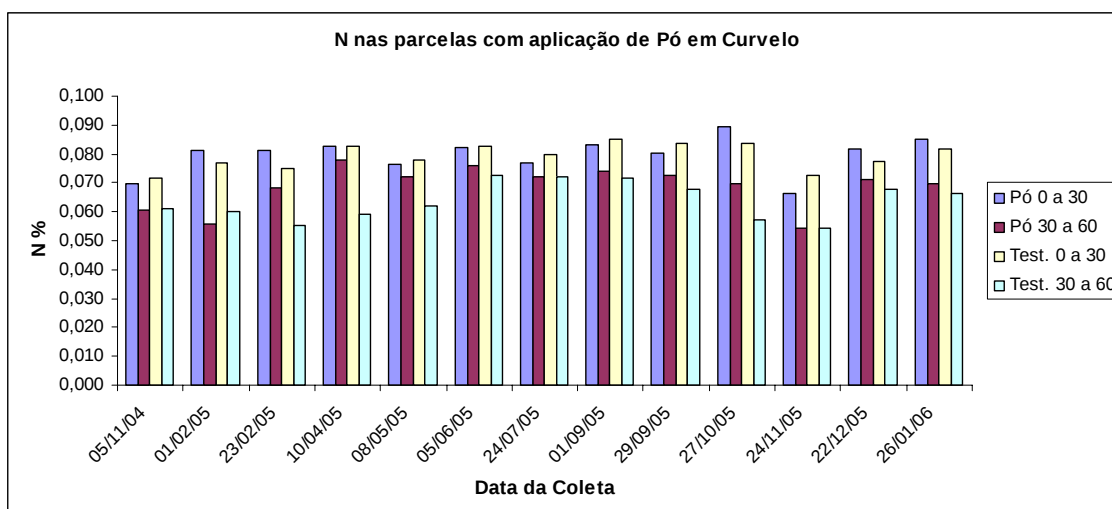


Figura 23. Nitrogênio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

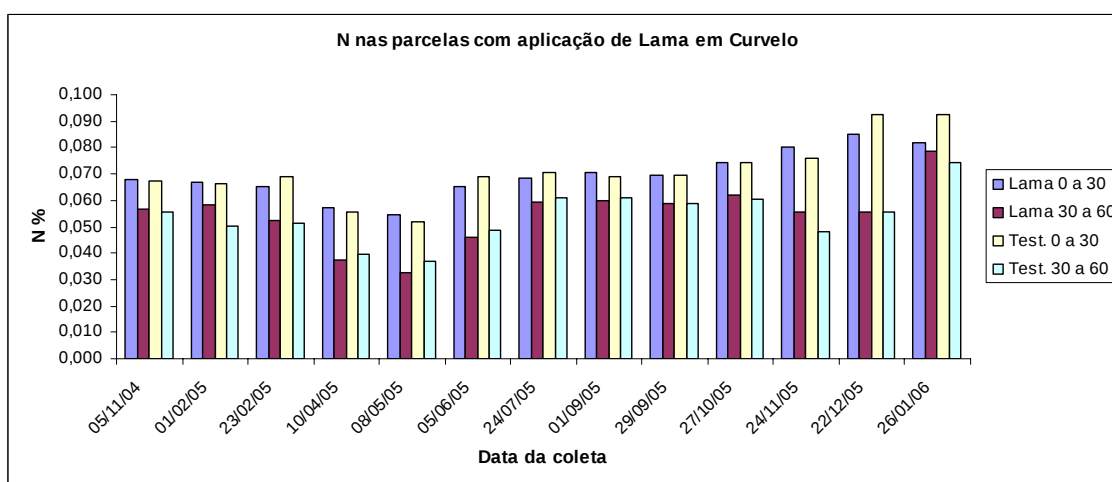


Figura 24. Nitrogênio nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

FÓSFORO

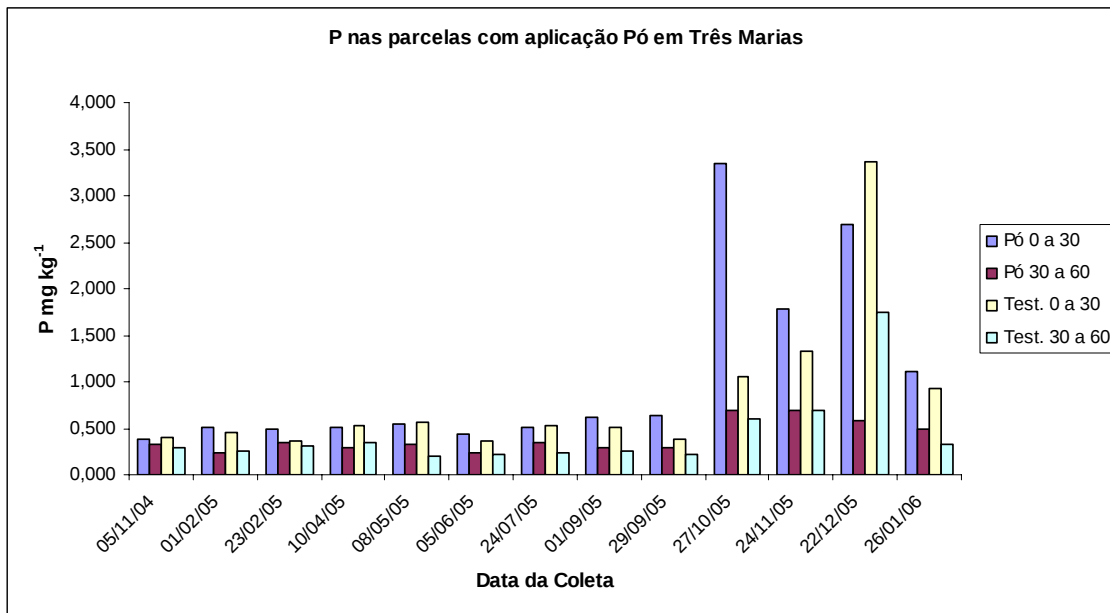


Figura 25. Fósforo nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

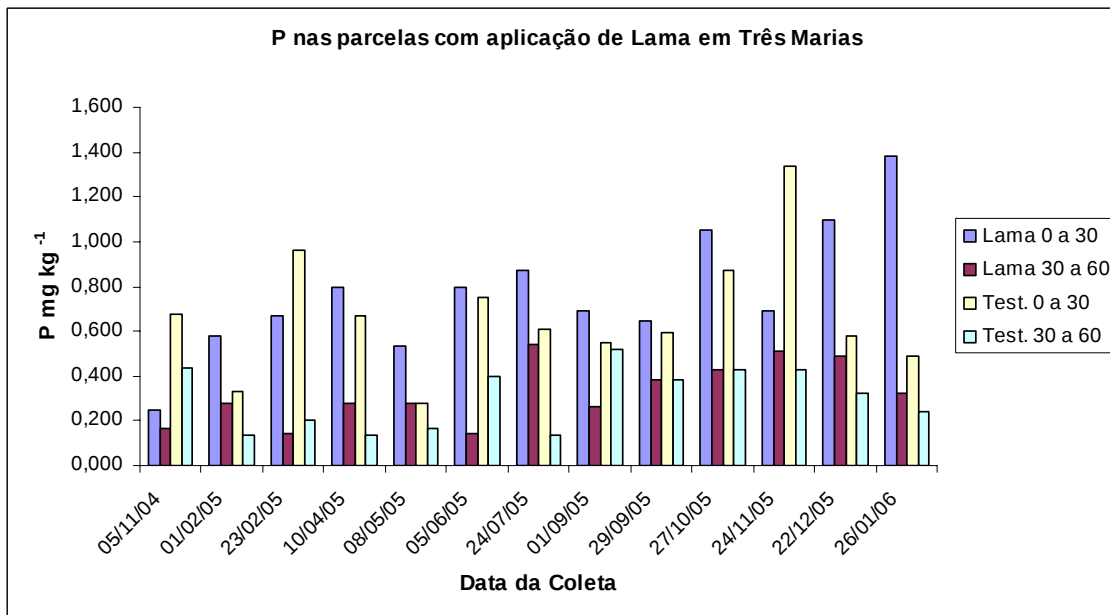


Figura 26 Fósforo nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

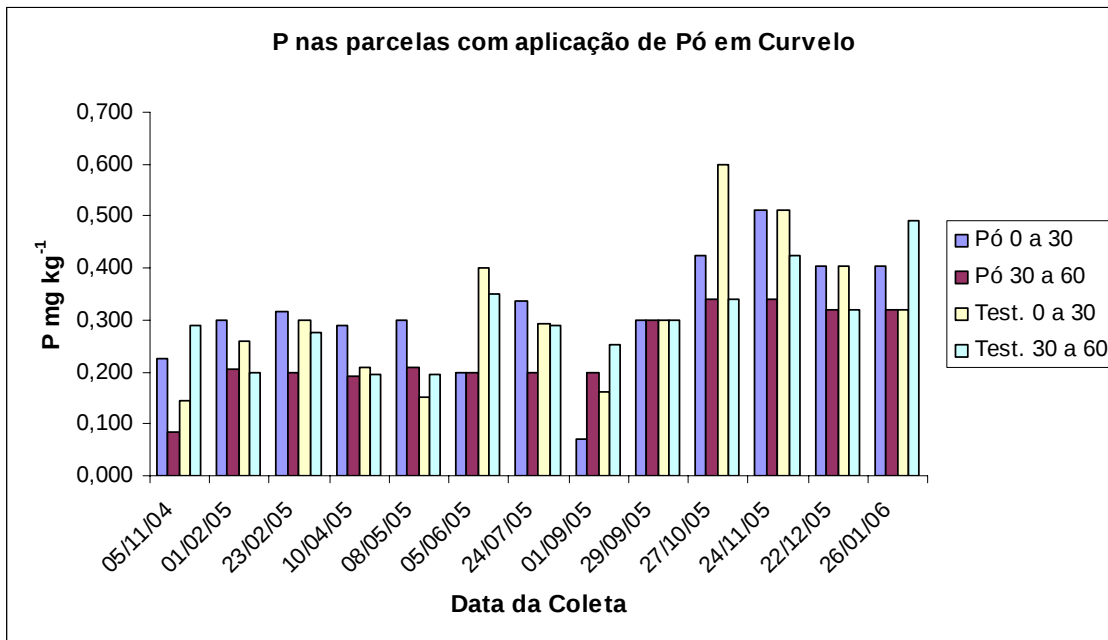


Figura 27. Fósforo nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

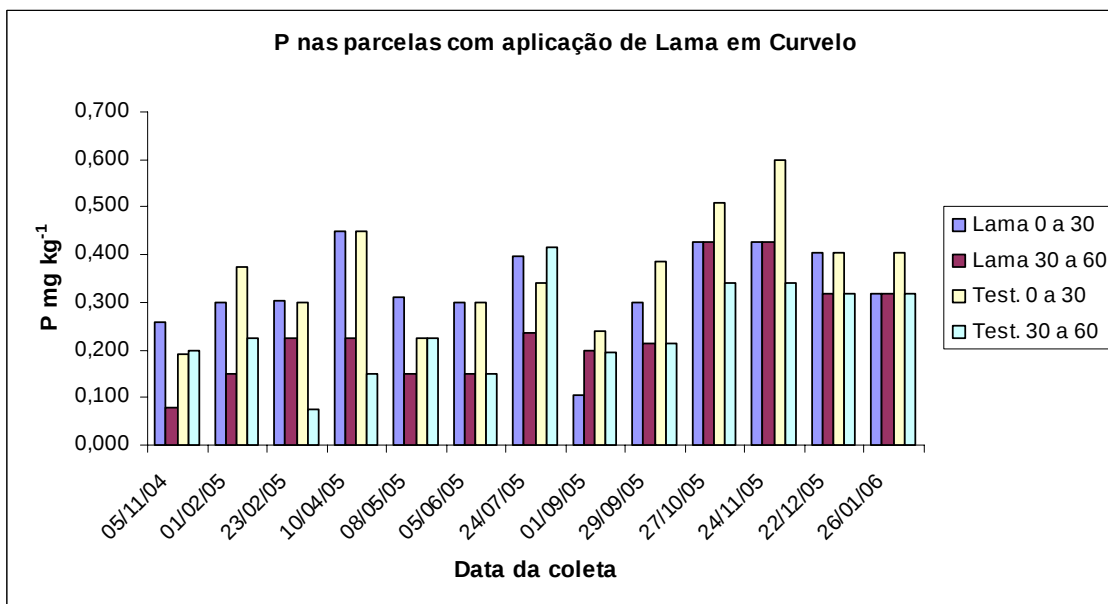


Figura 28. Fósforo nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

POTÁSSIO

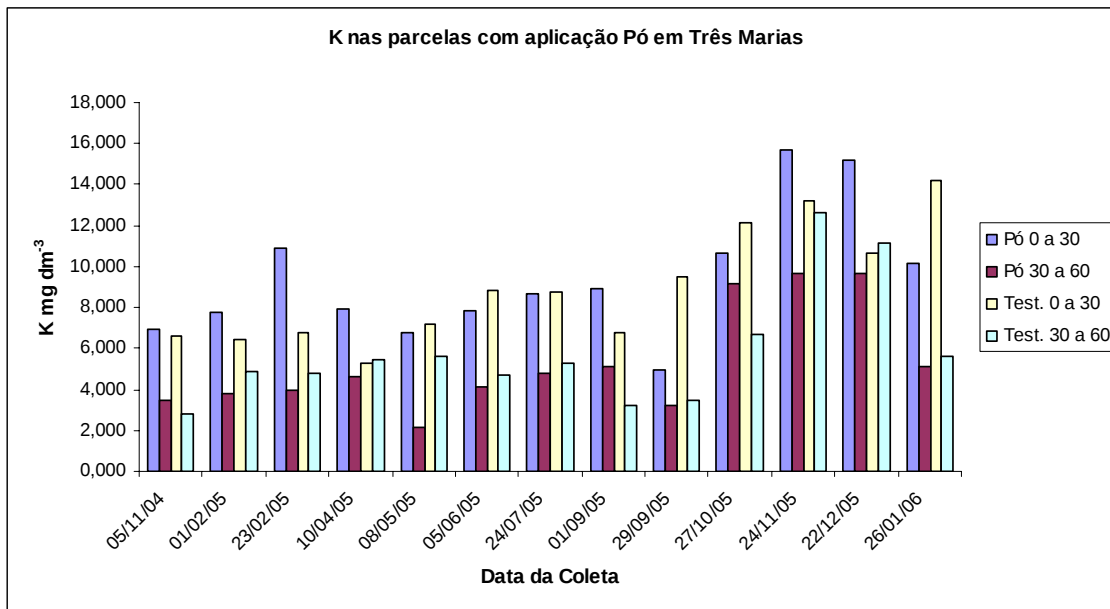


Figura 29. Potássio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

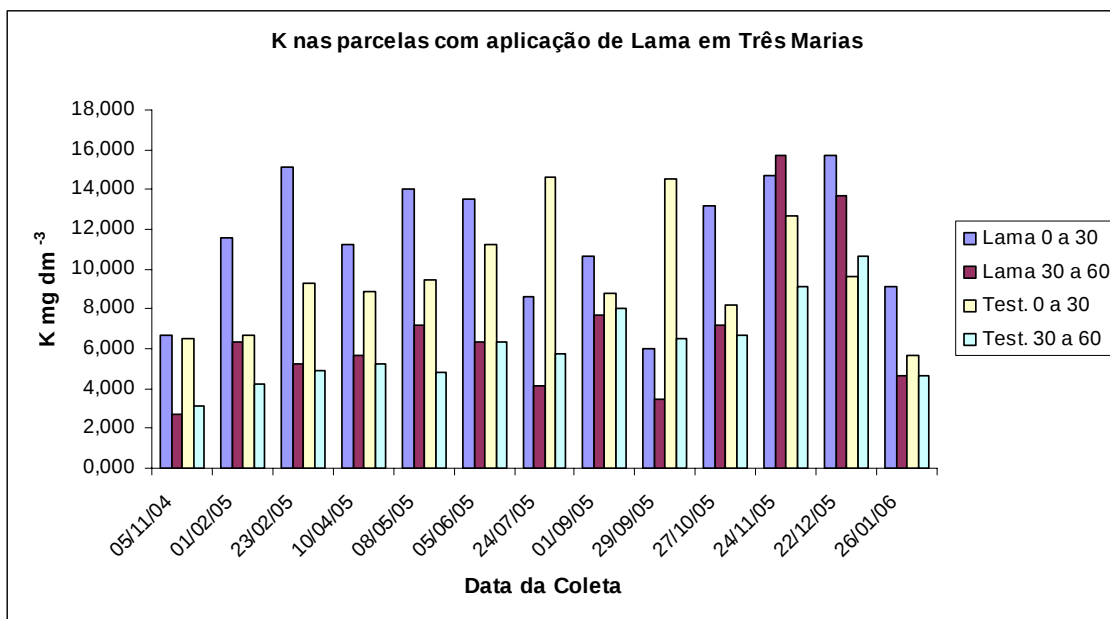


Figura 30. Potássio nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

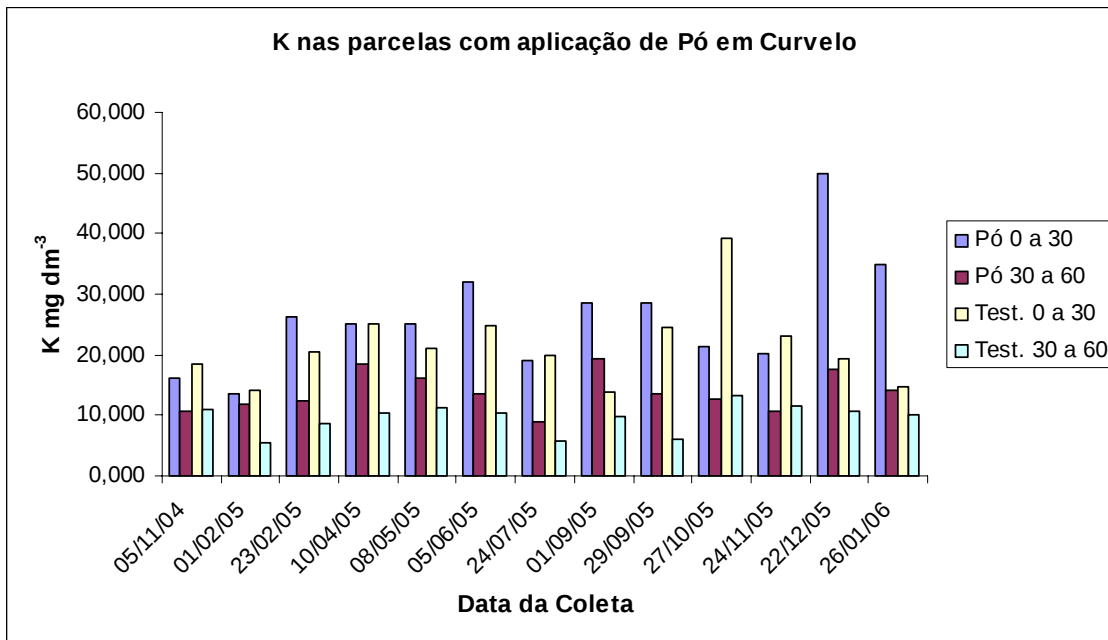


Figura 31. Potássio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

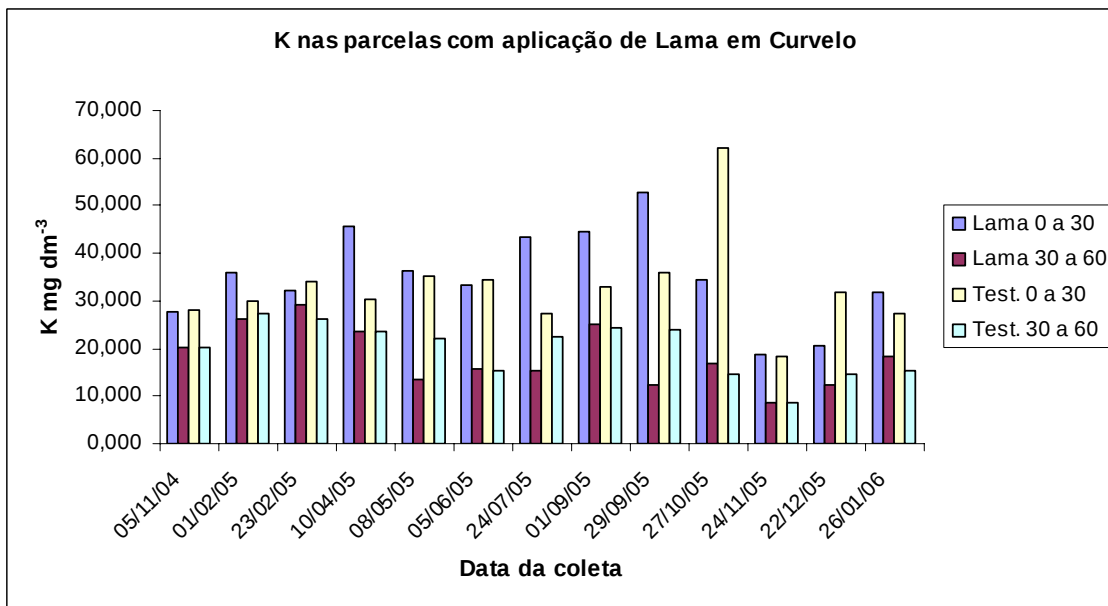


Figura 32. Potássio nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

CÁLCIO

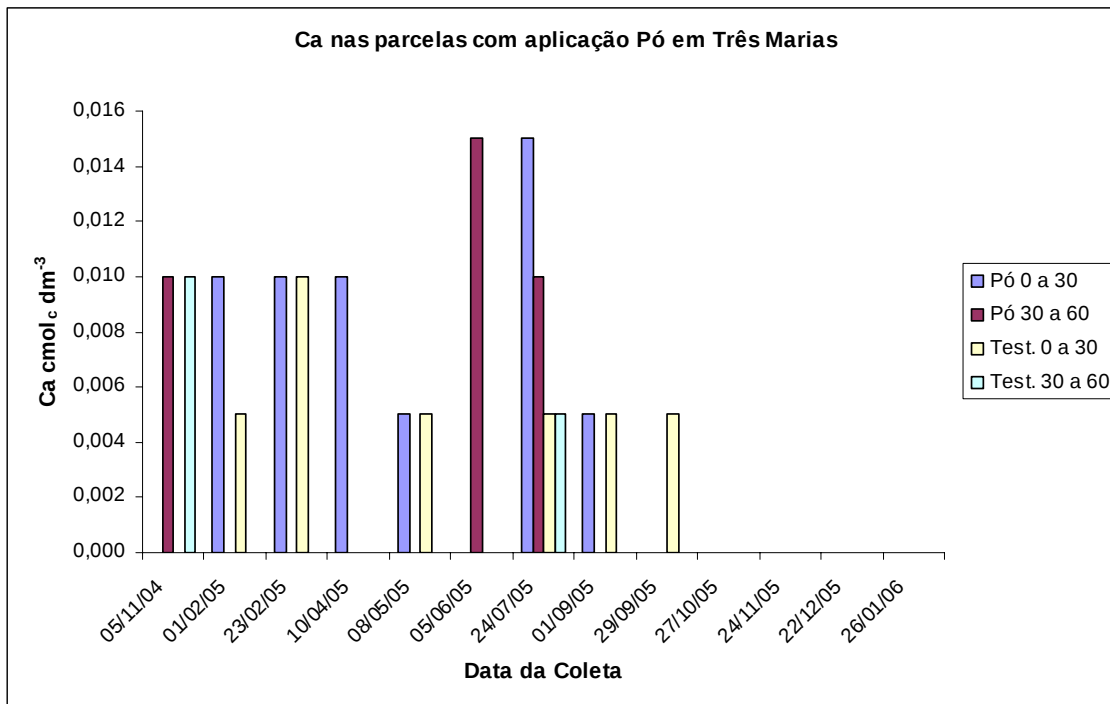


Figura 33. Cálcio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

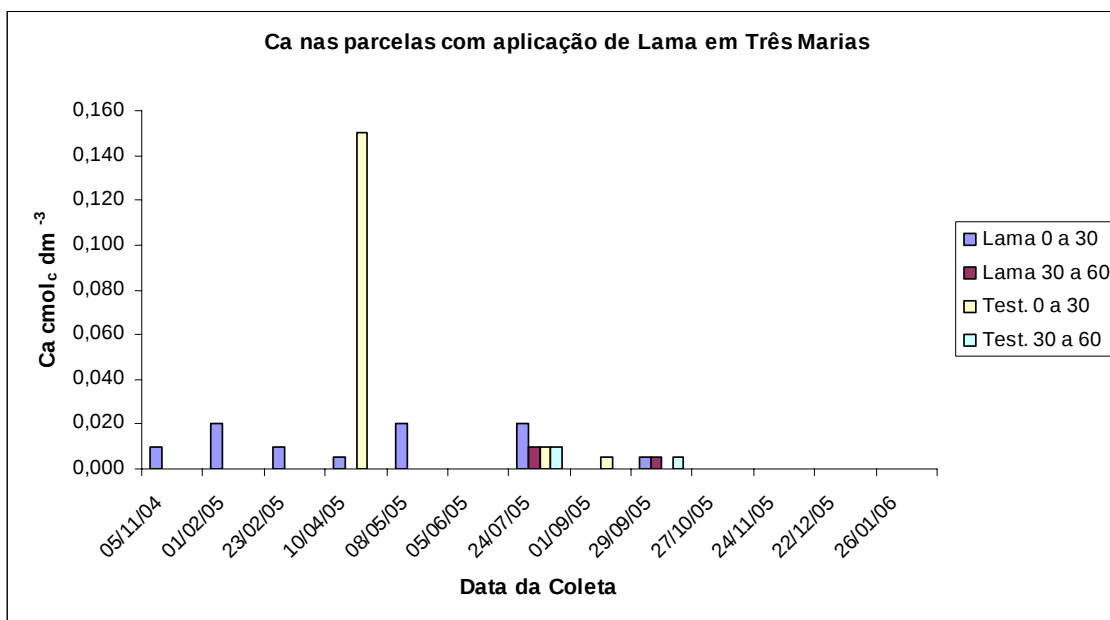


Figura 34. Cálcio nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

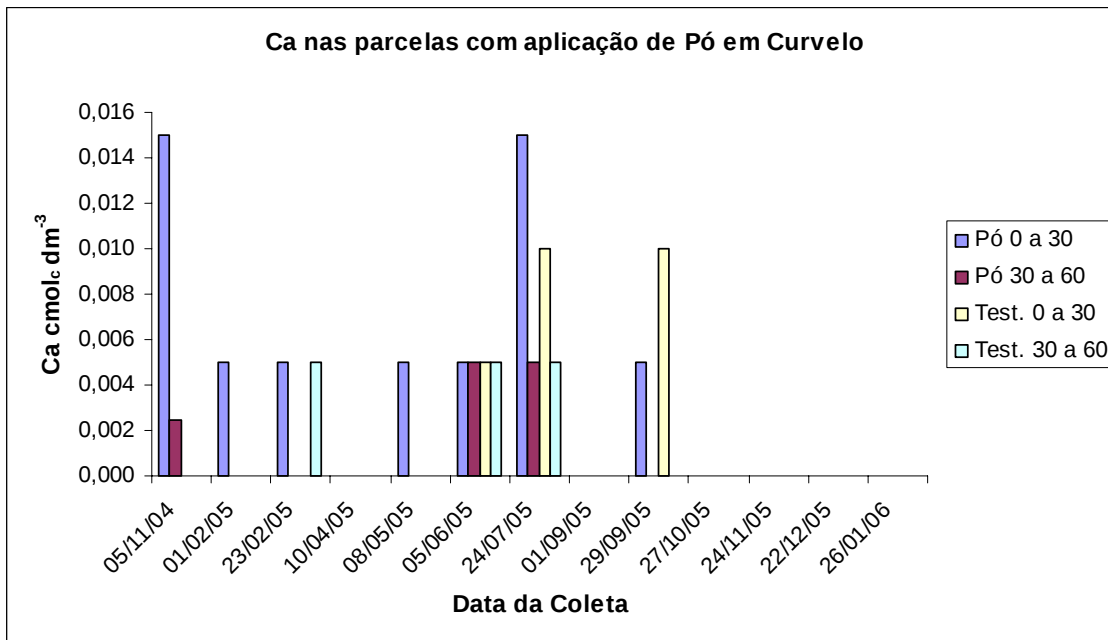


Figura 35. Cálcio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

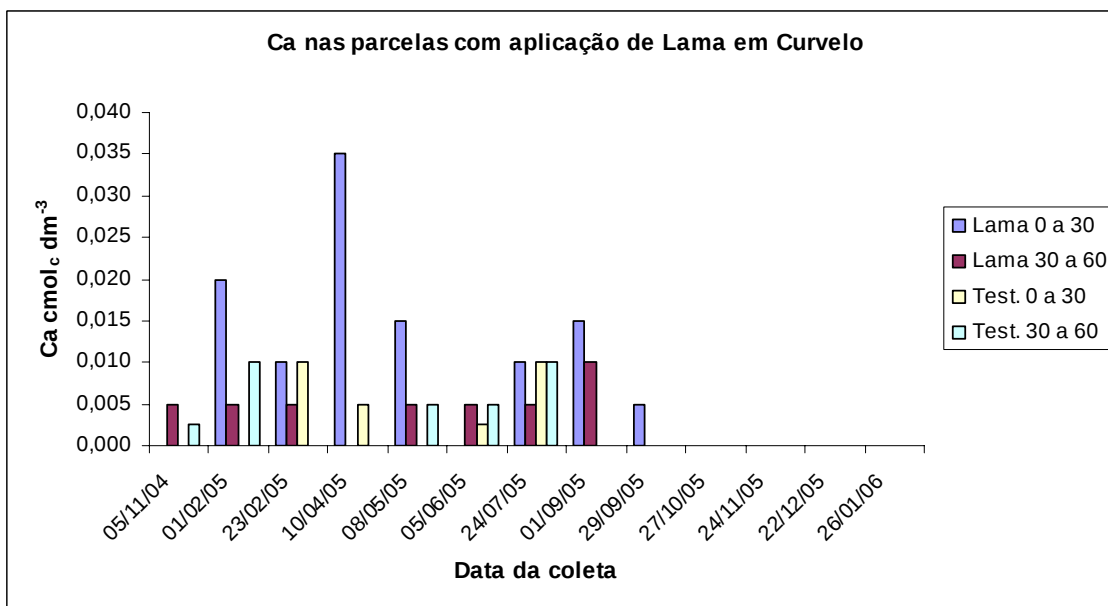


Figura 36. Cálcio nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

MAGNÉSIO

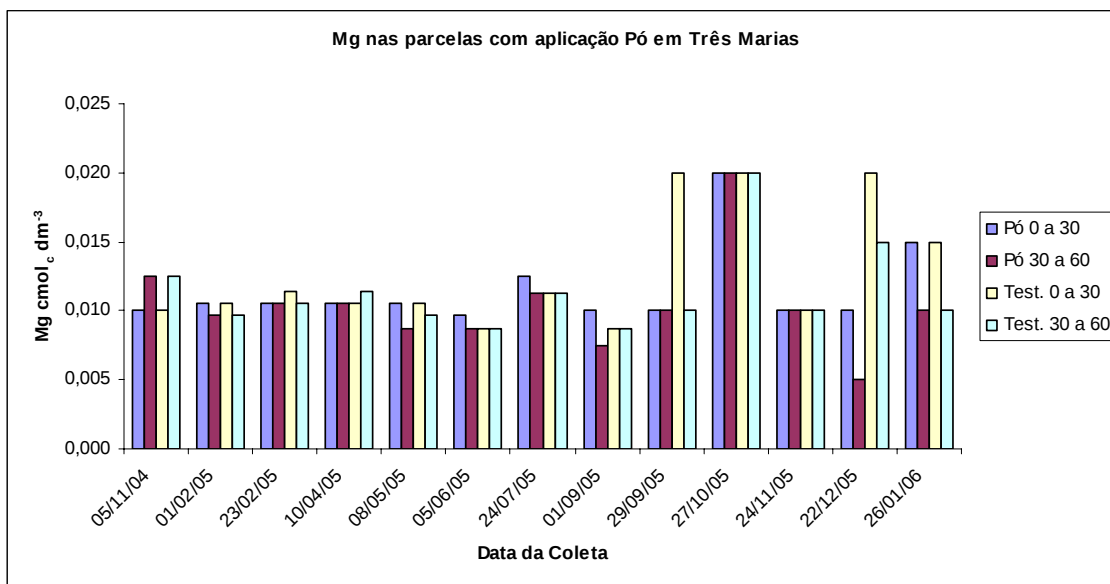


Figura 37. Magnésio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG. .

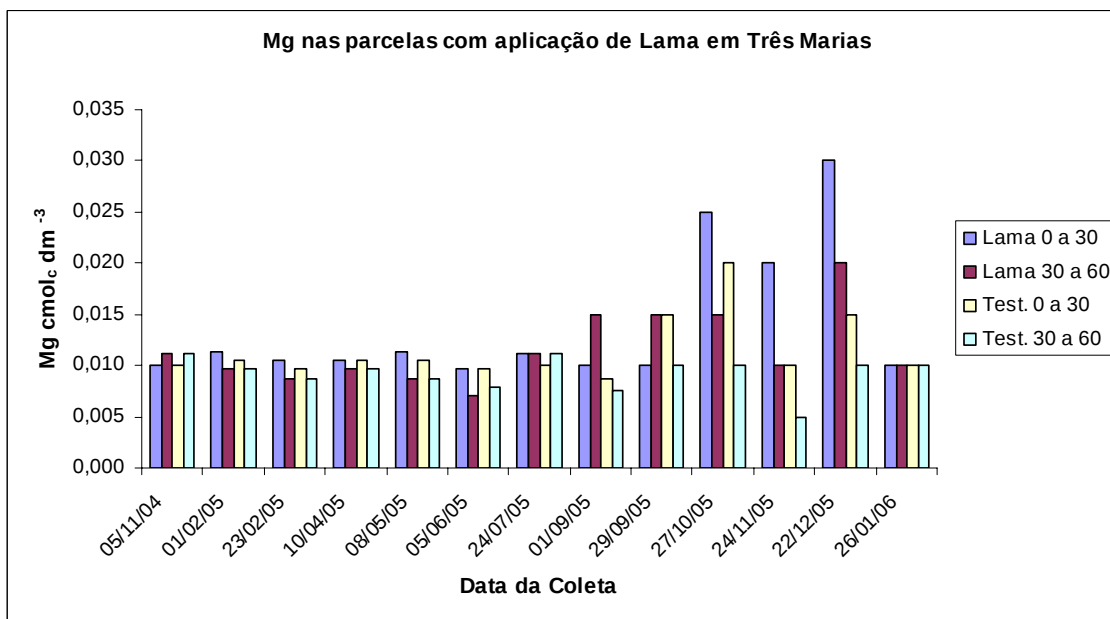


Figura 38. Magnésio nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

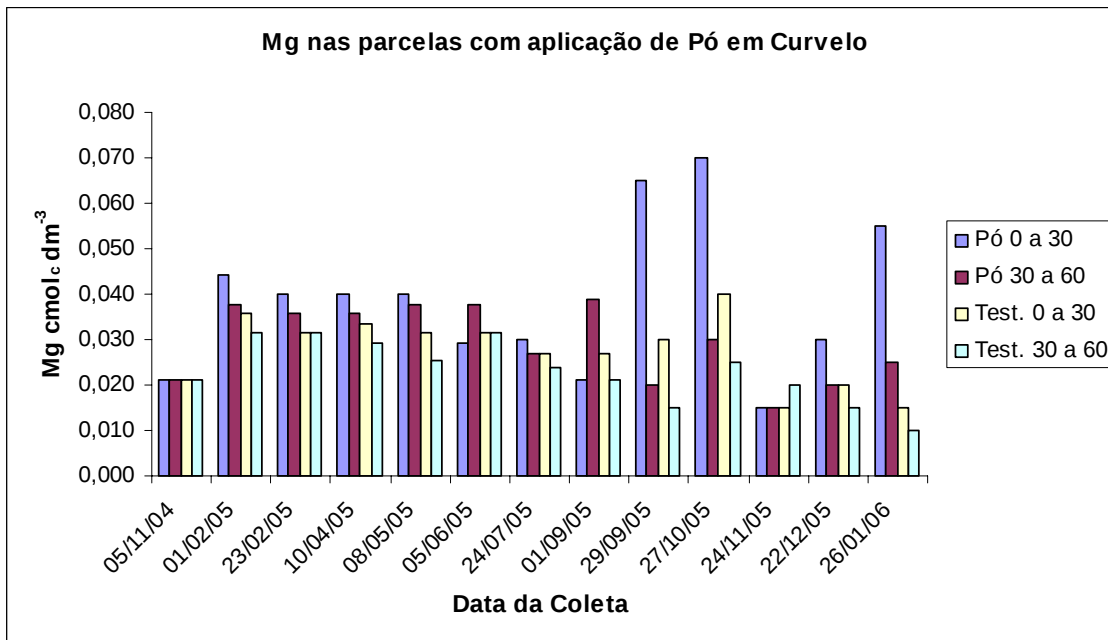


Figura 39. Magnésio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

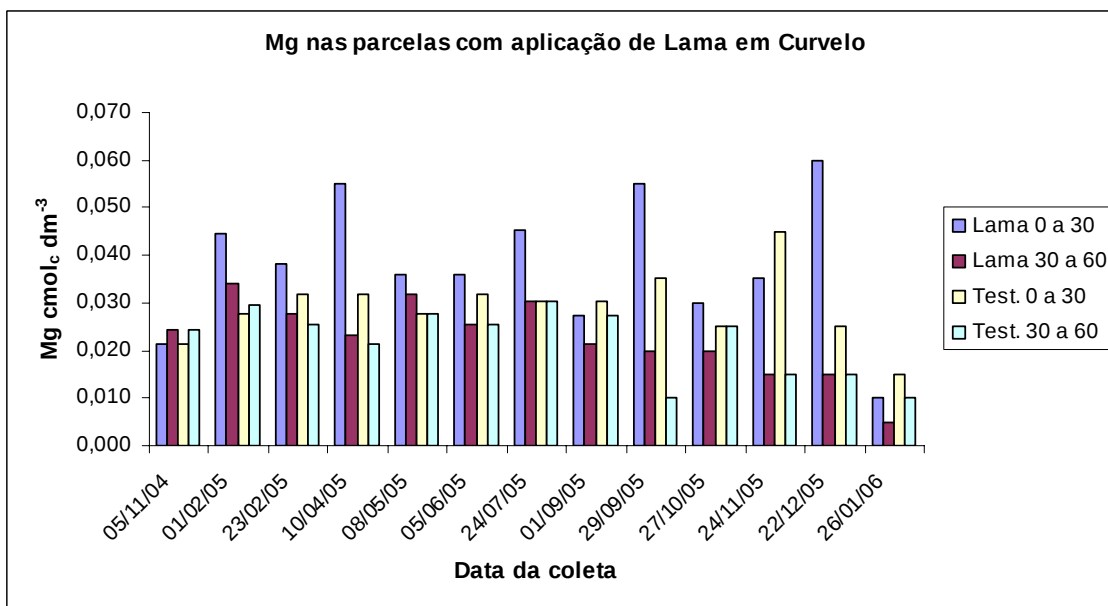


Figura 40. Magnésio as parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

ENXOFRE

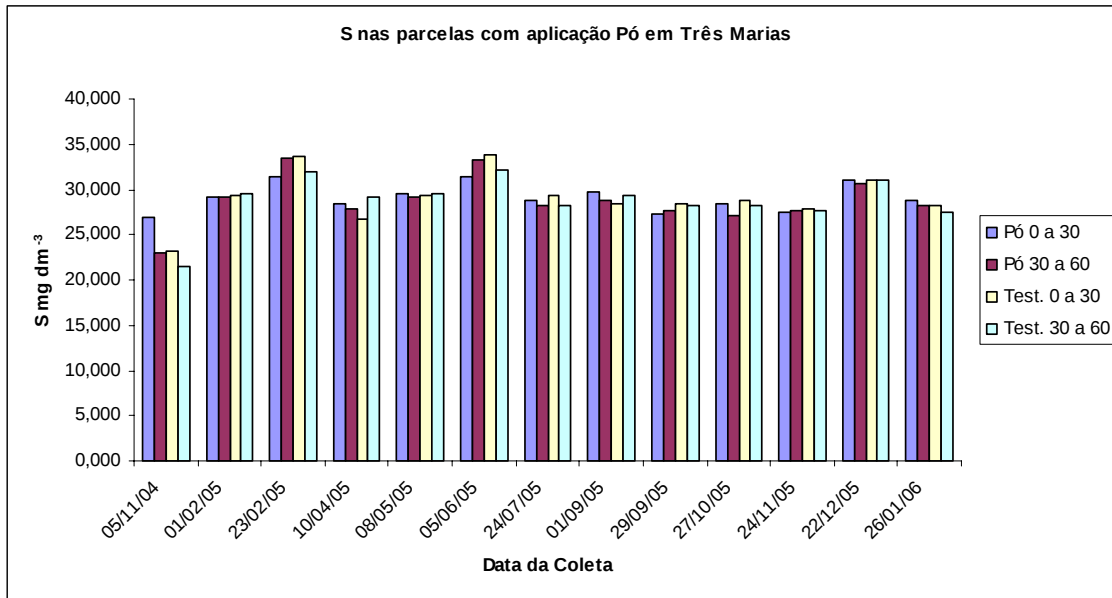


Figura 41. Enxofre nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

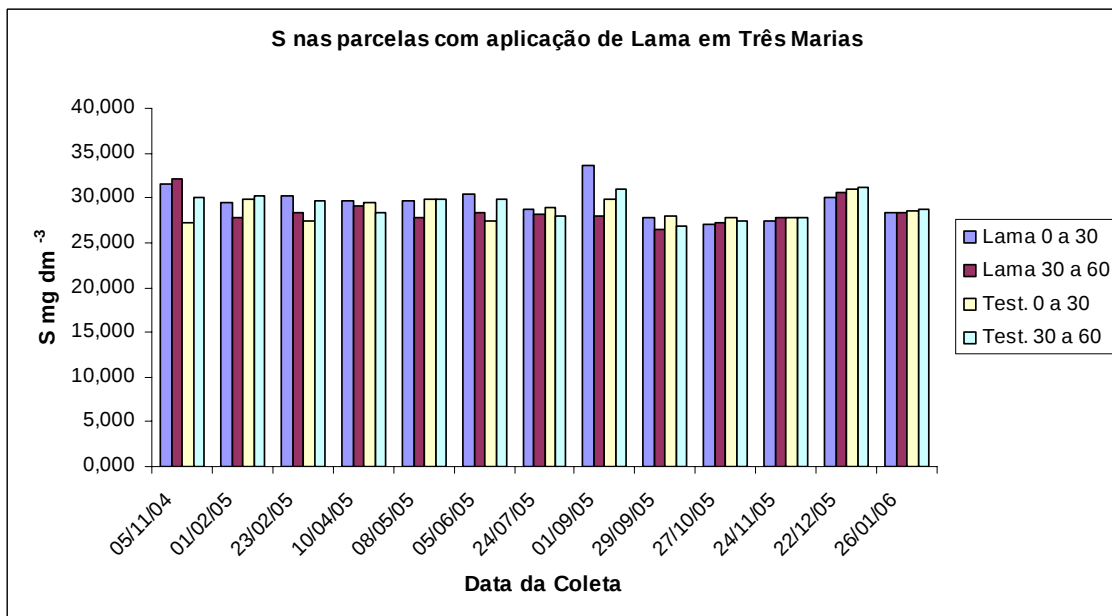


Figura 42. Enxofre nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

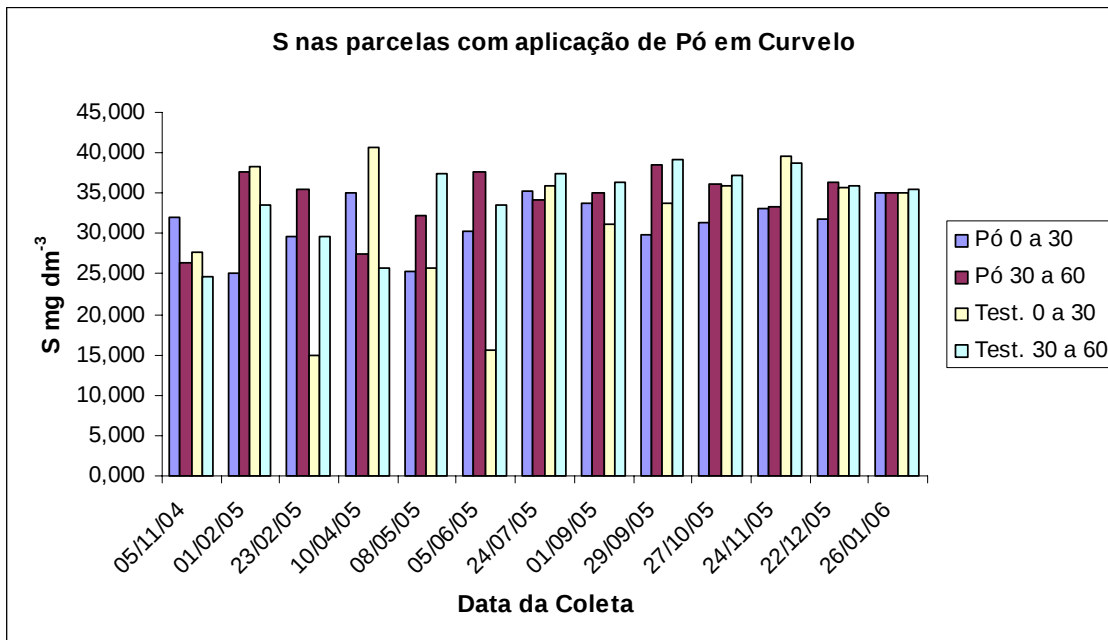


Figura 43. Enxofre nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

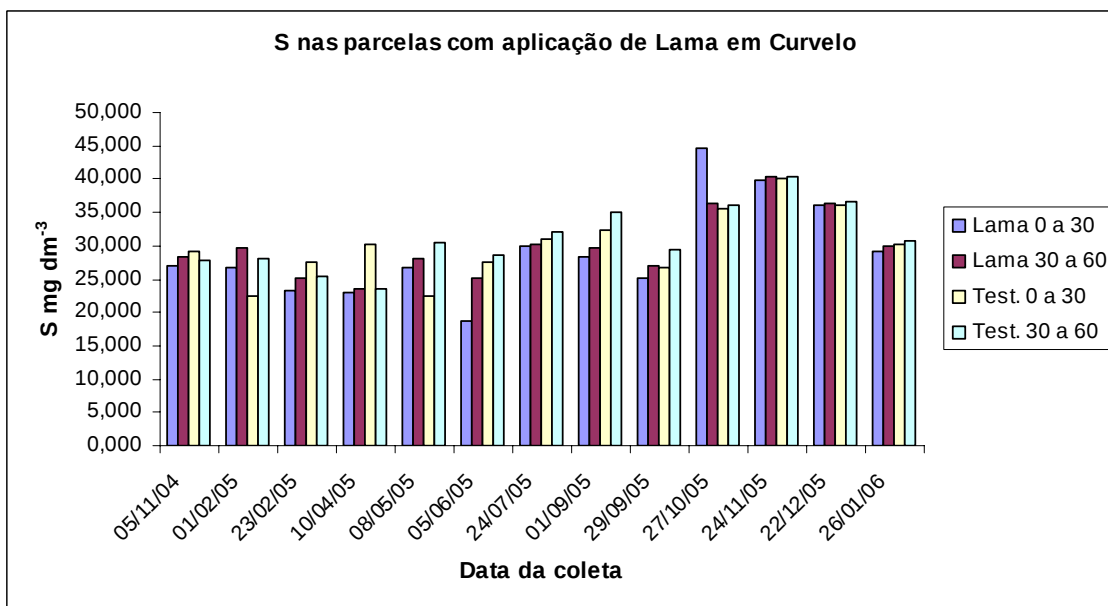


Figura 44. Enxofre nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

ZINCO

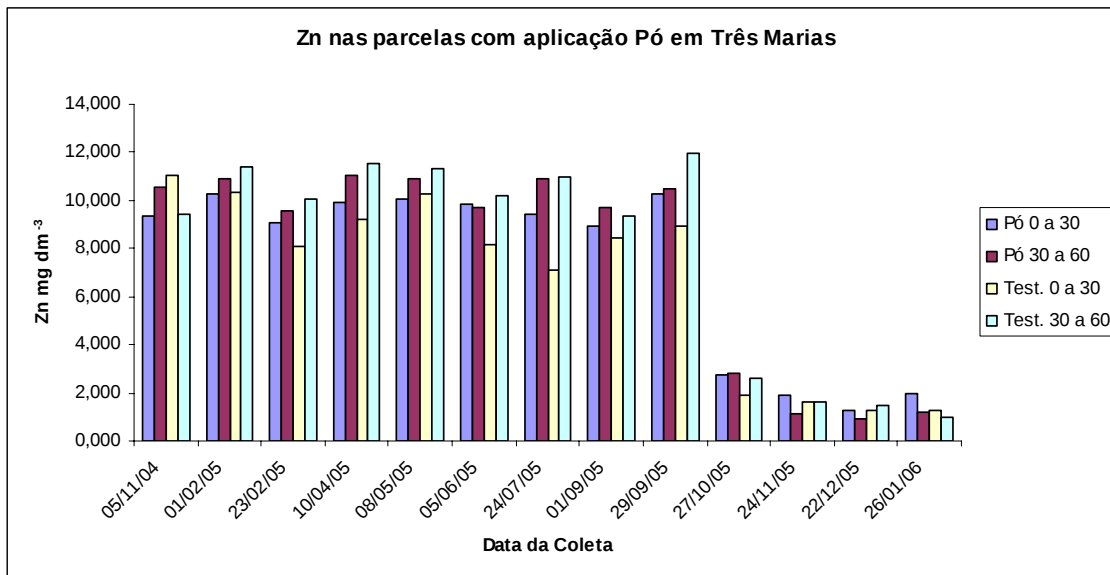


Figura 45. Zinco nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

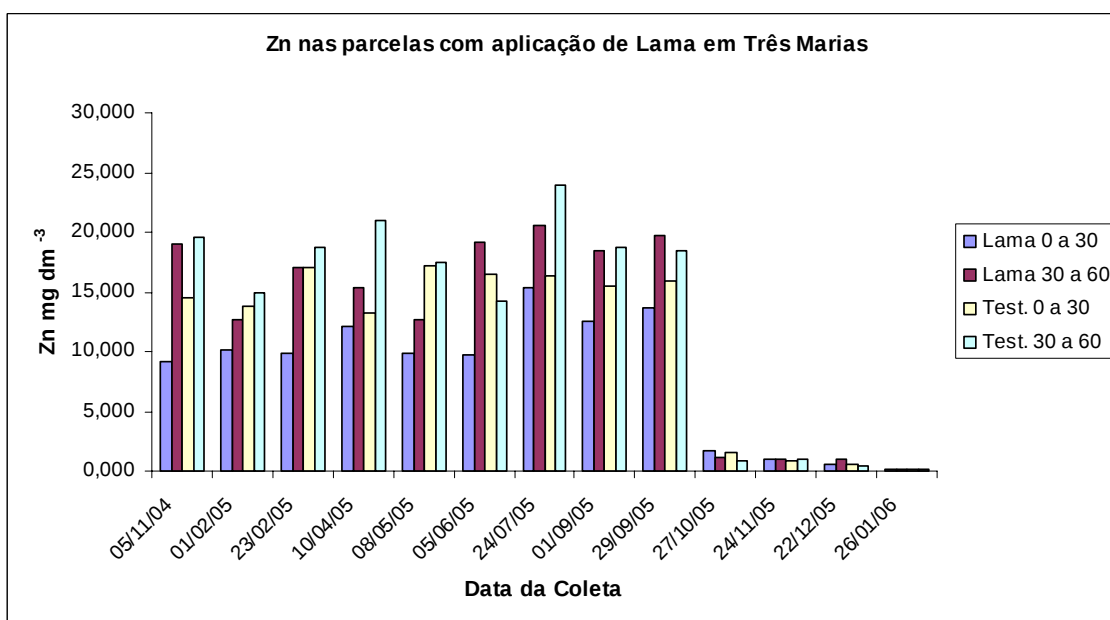


Figura 46. Zinco nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

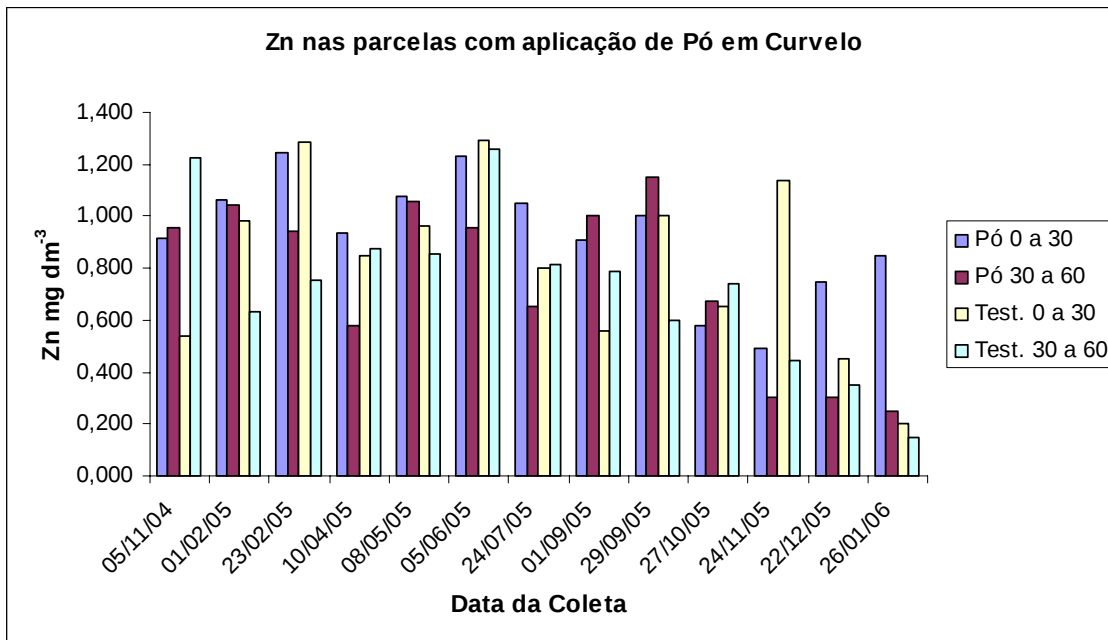


Figura 47. Zinco nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

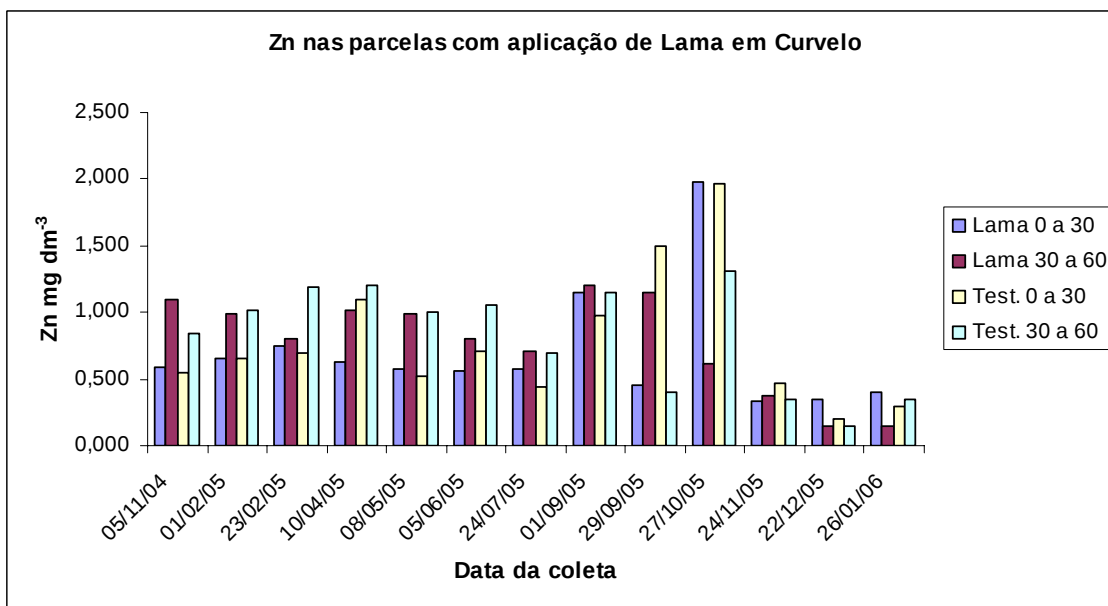


Figura 48. Zinco nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

FERRO

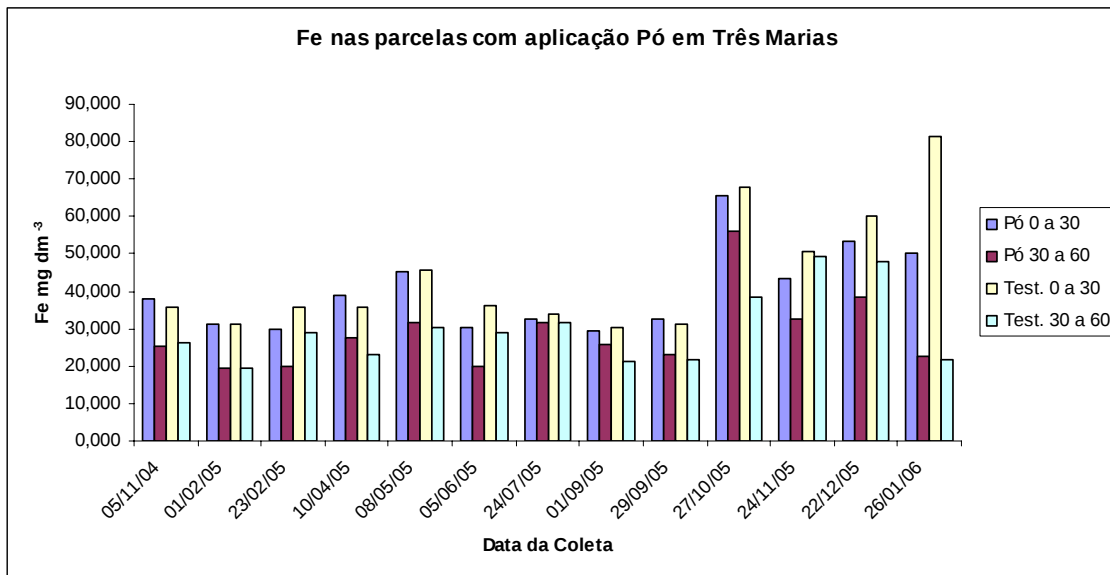


Figura 49. Ferro nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

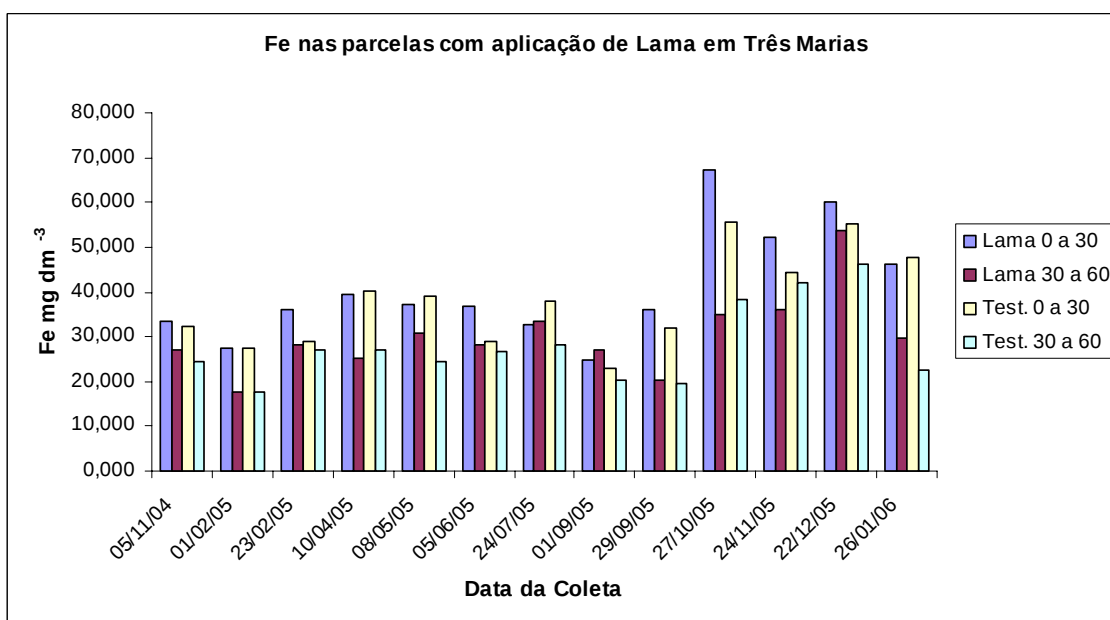


Figura 50. Ferro nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

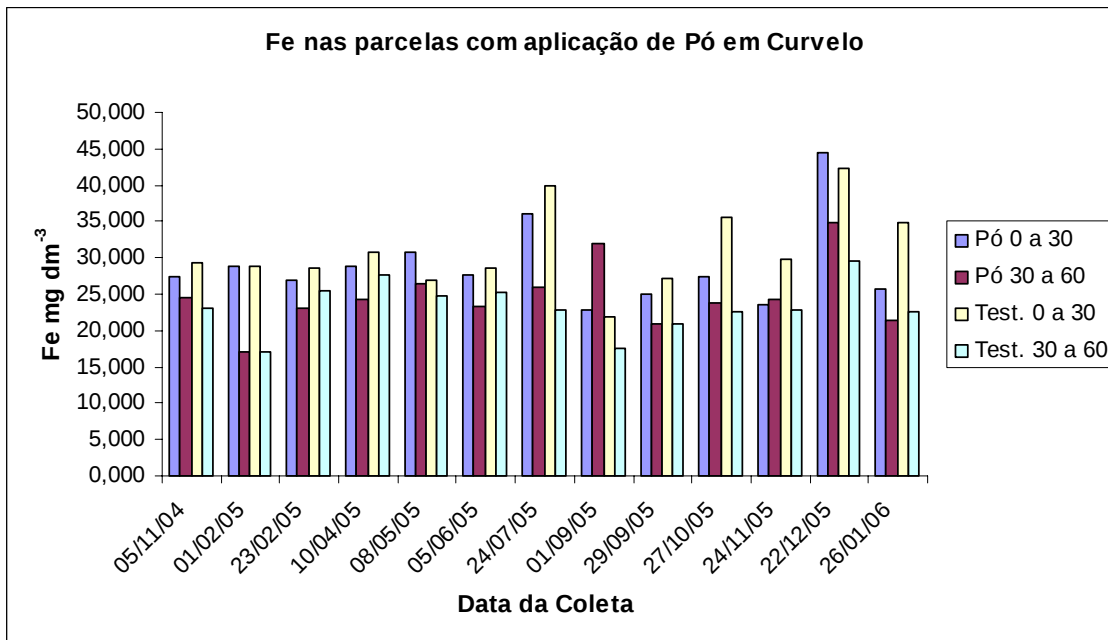


Figura 51. Ferro nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

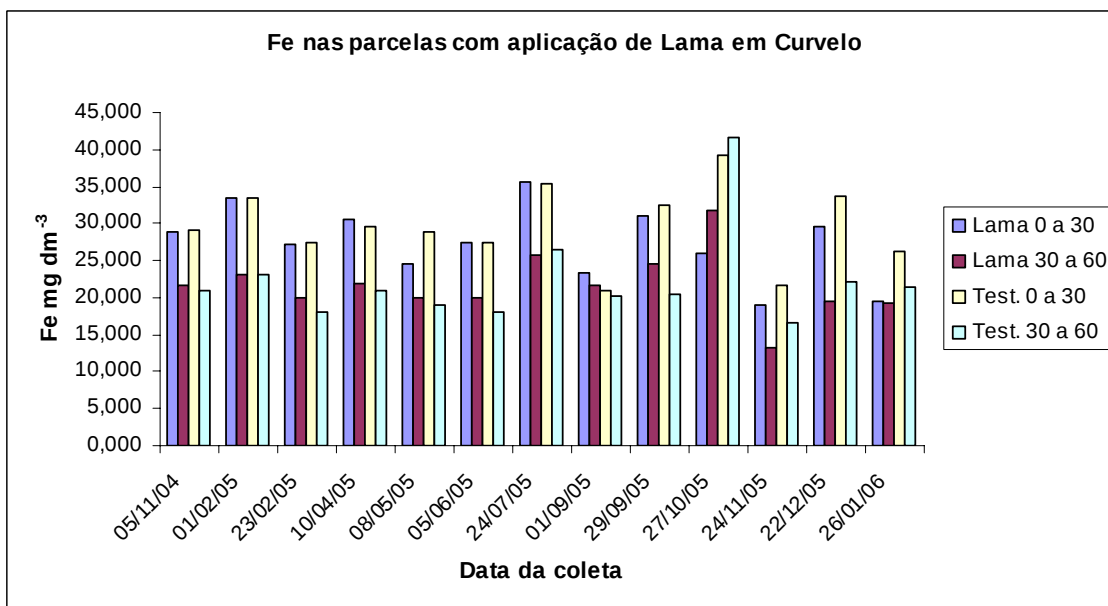


Figura 52. Ferro nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

MANGANÊS

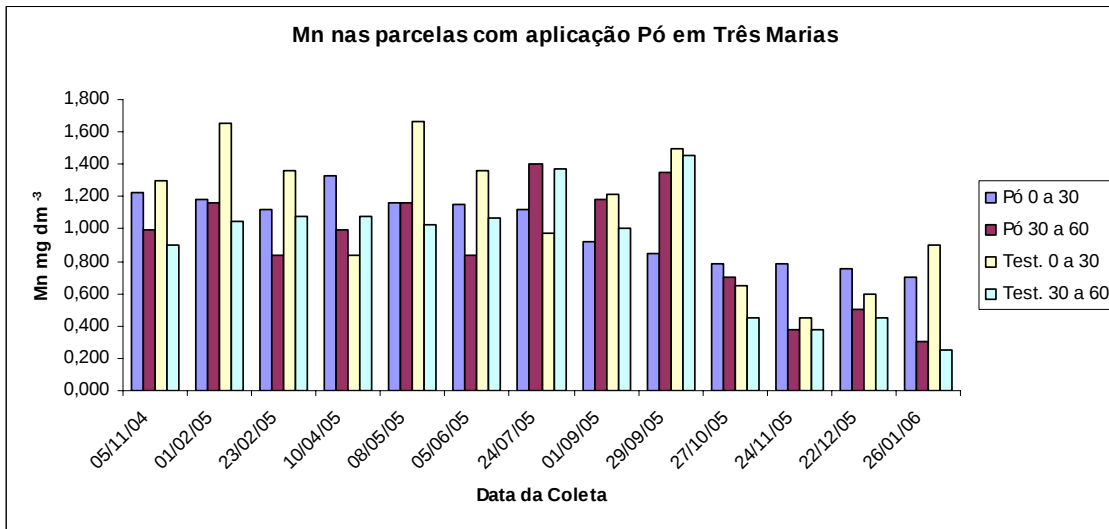


Figura 53. Manganês nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

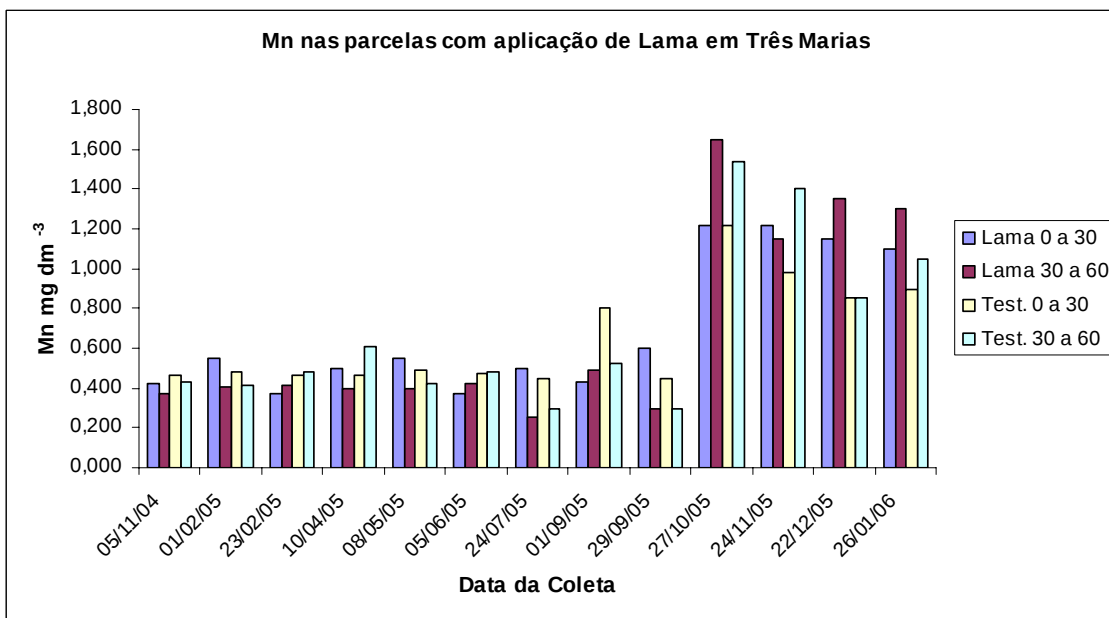


Figura 54. Manganês nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

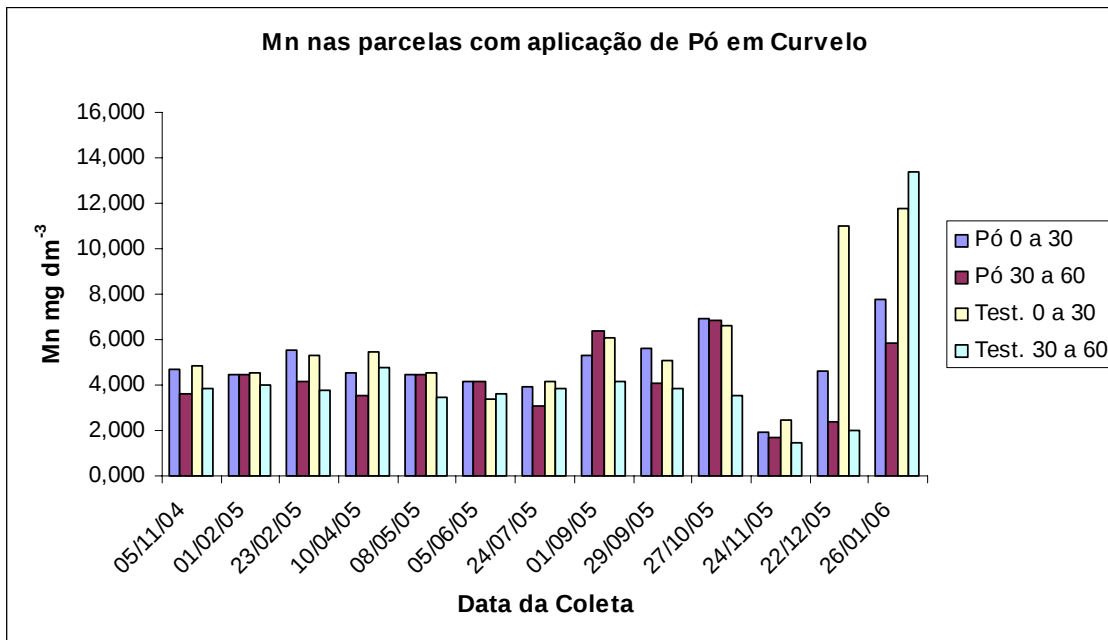


Figura 55. Manganês nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

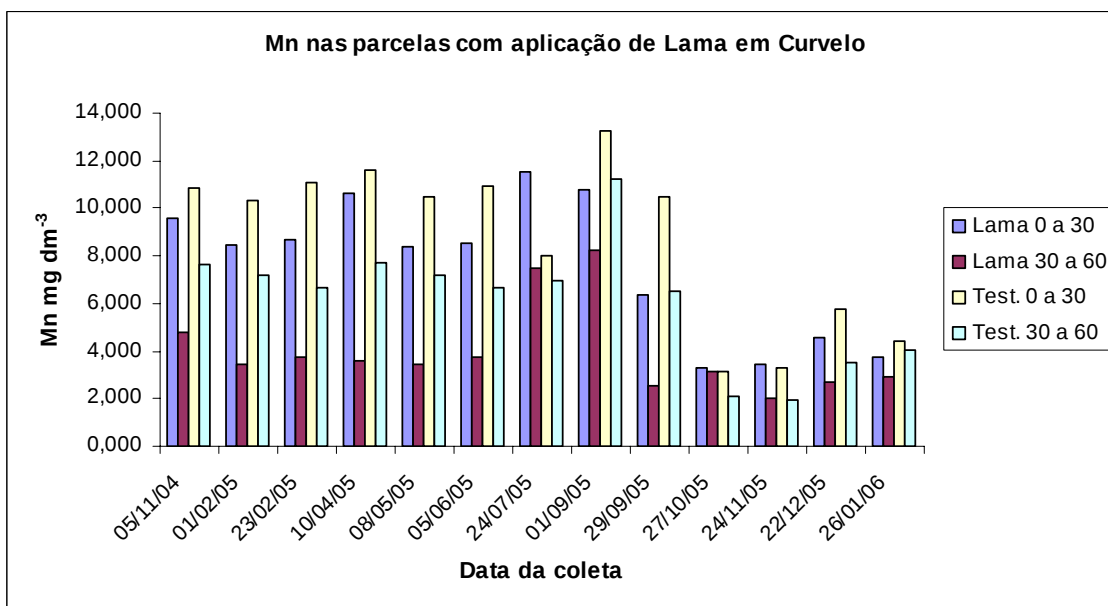


Figura 56. Manganês nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

COBRE

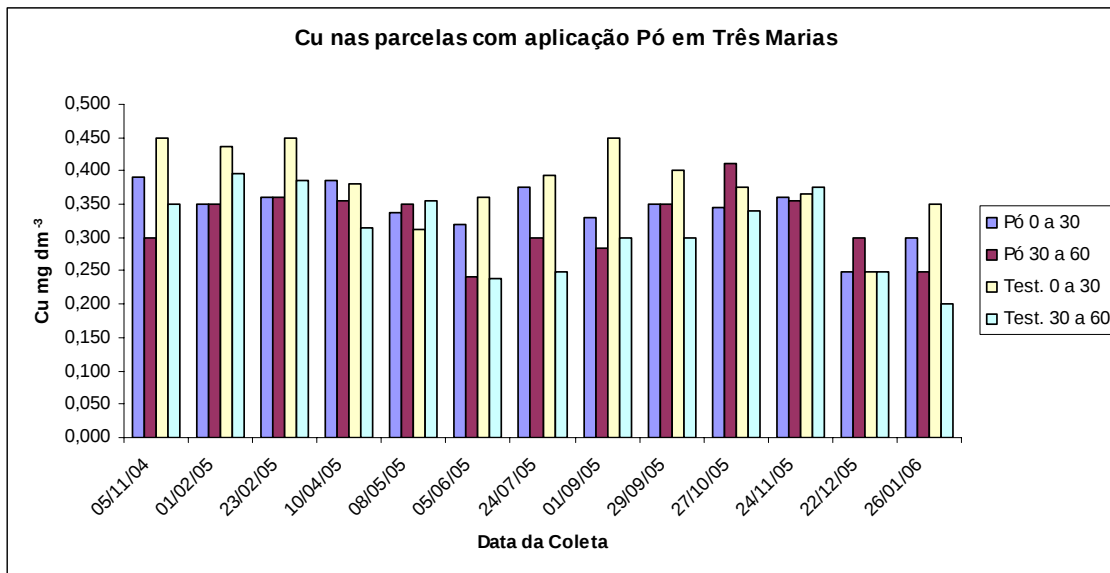


Figura 57. Cobre nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

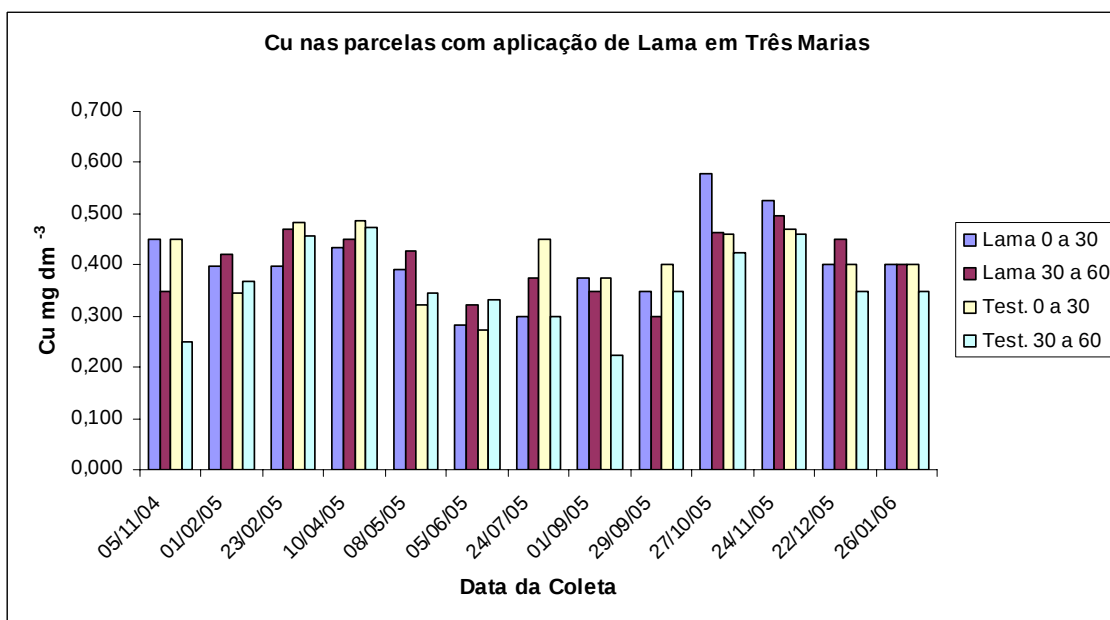


Figura 58. Cobre nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

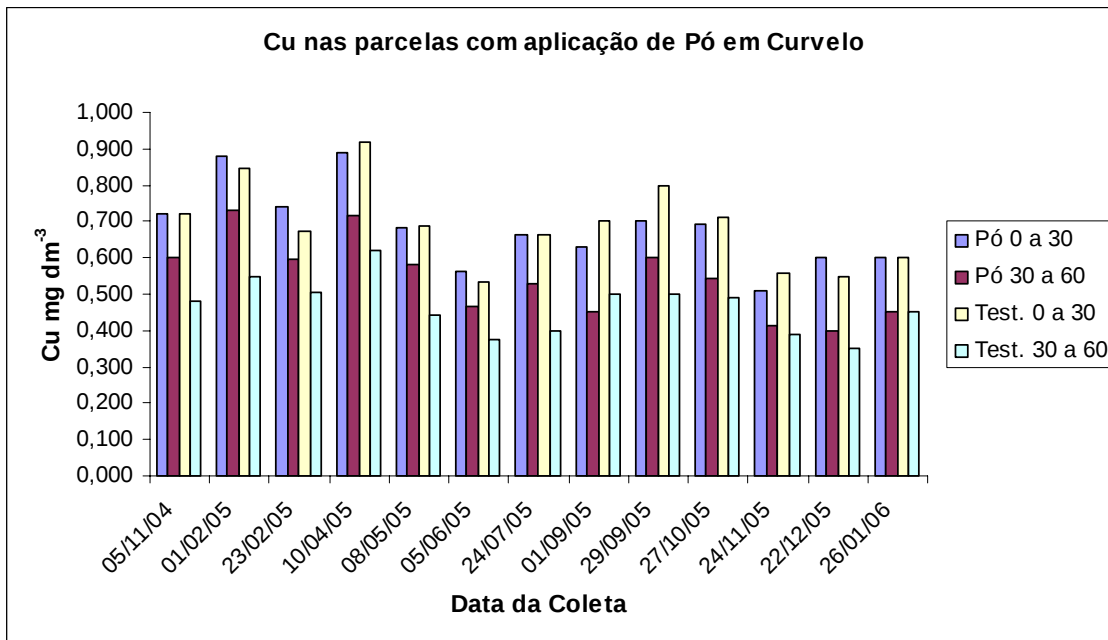


Figura 59. Cobre nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

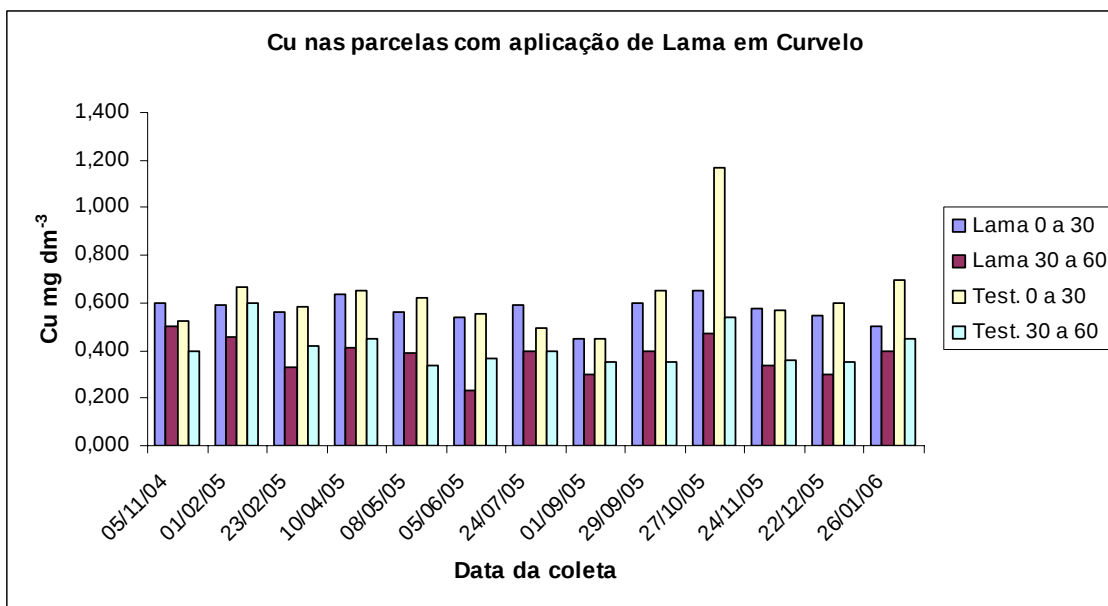


Figura 60. Cobre nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

CHUMBO

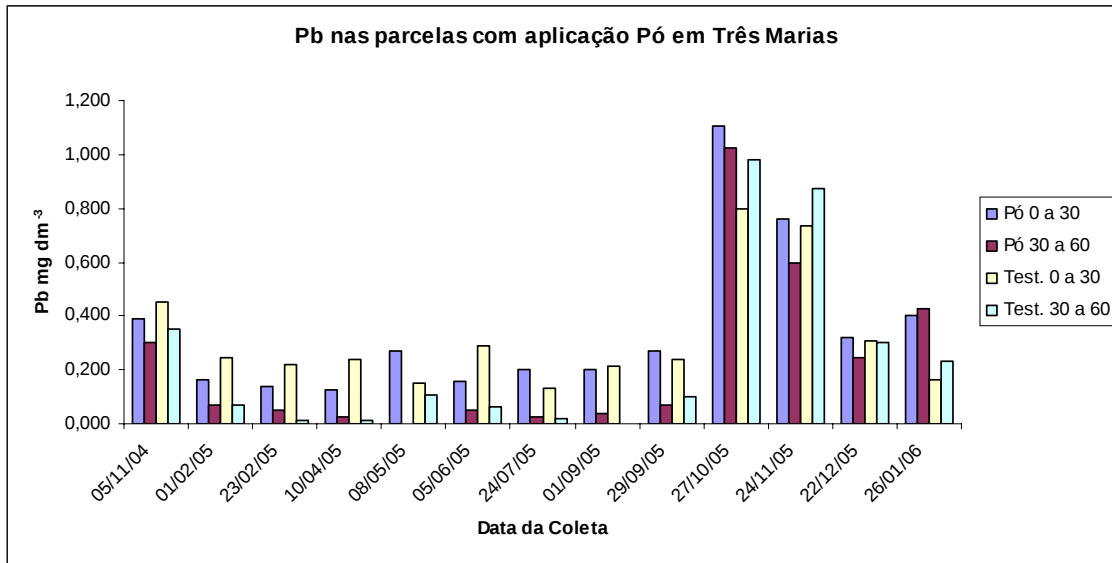


Figura 61. Chumbo nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

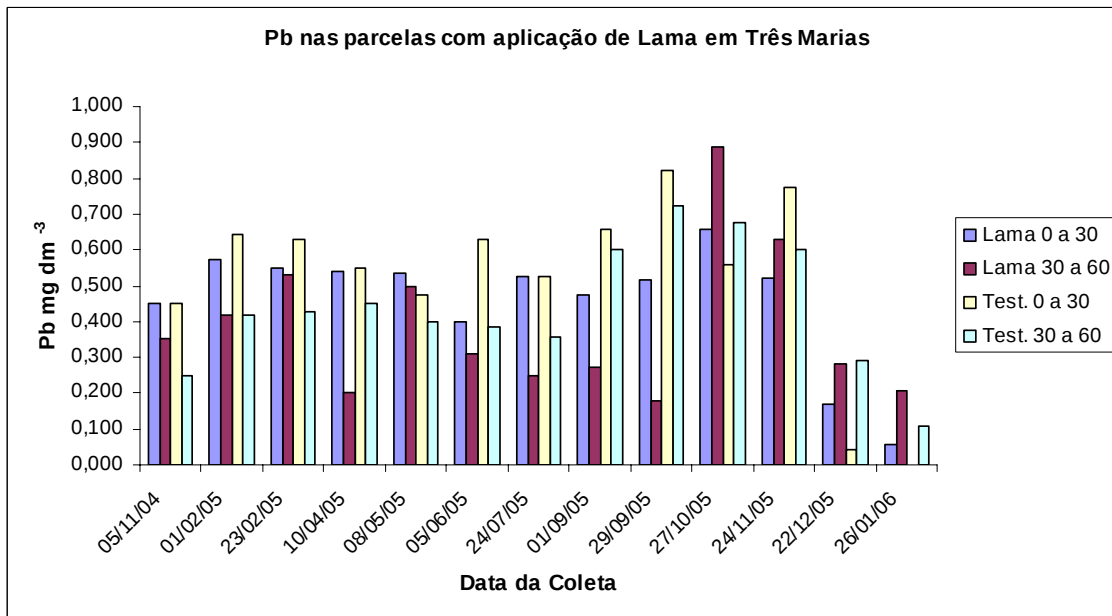


Figura 62. Chumbo nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

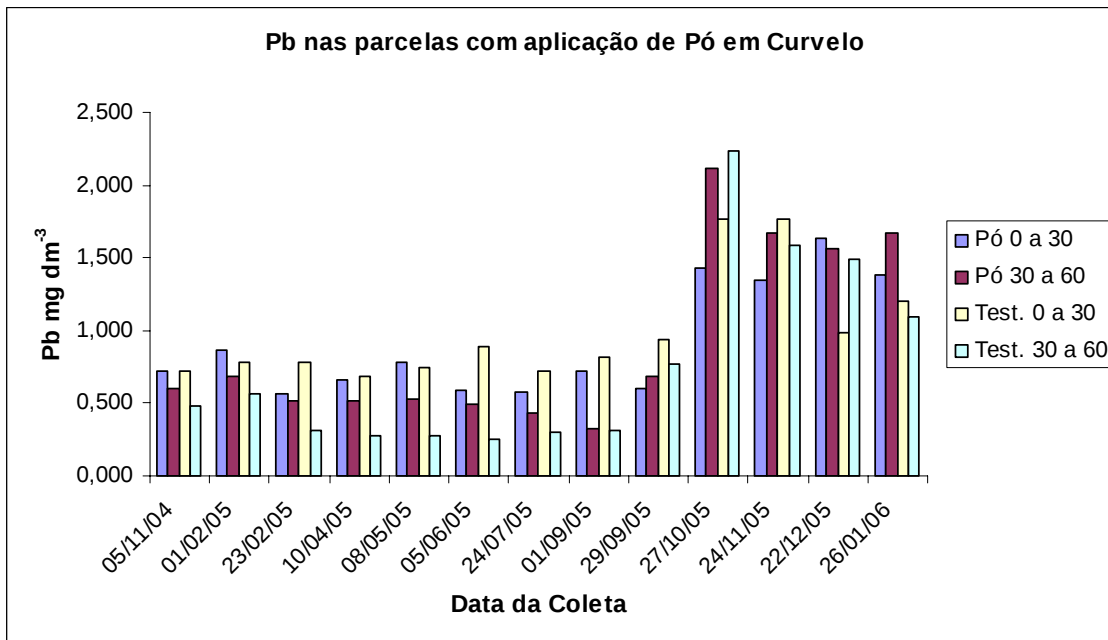


Figura 63. Chumbo nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

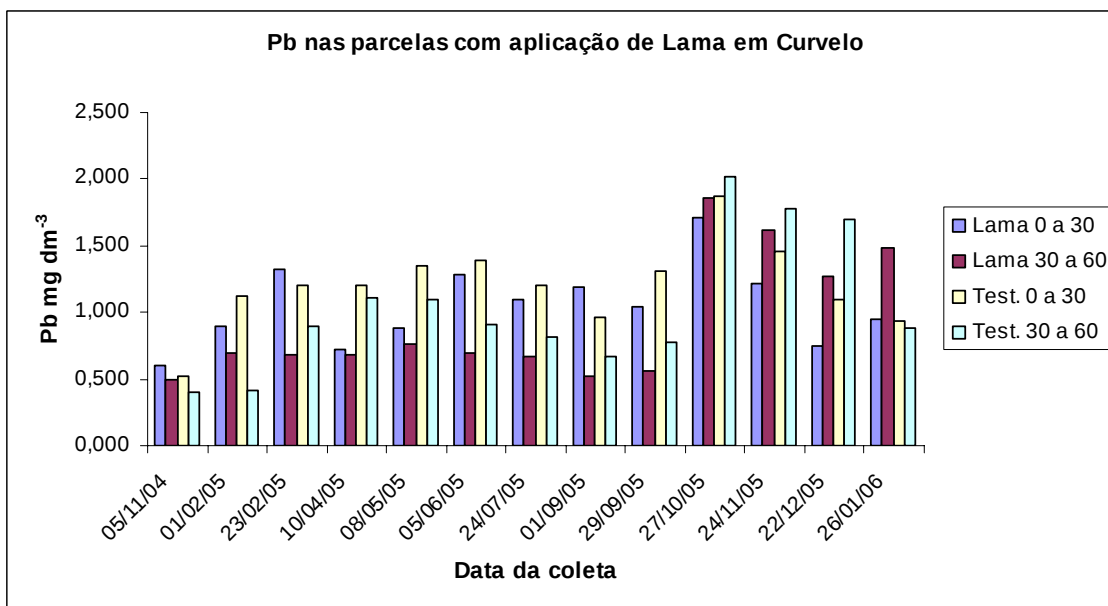


Figura 64. Chumbo nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

MERCÚRIO

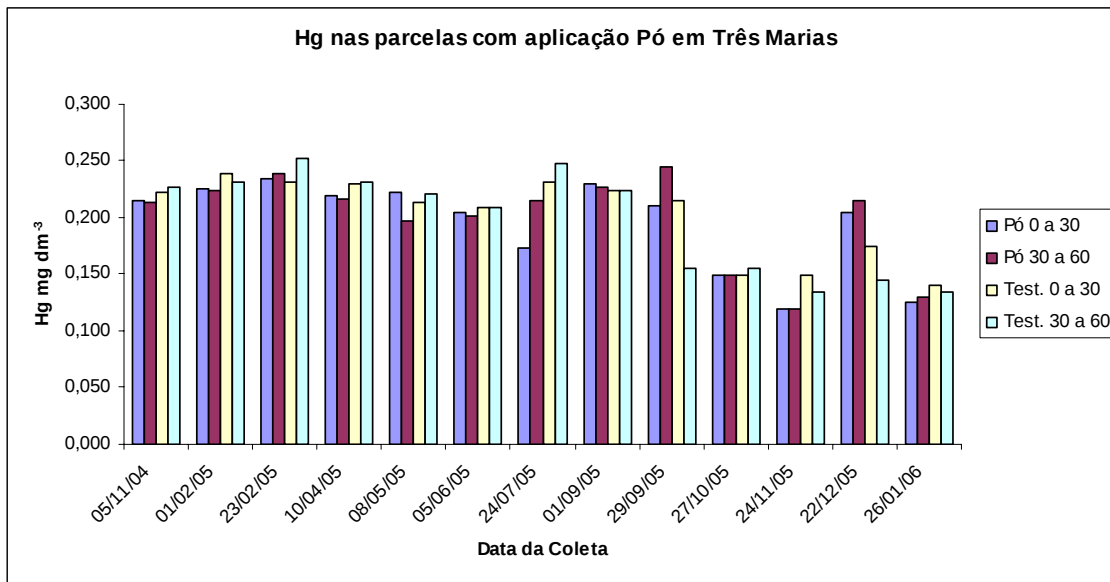


Figura 65. Mercúrio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Três Marias-MG.

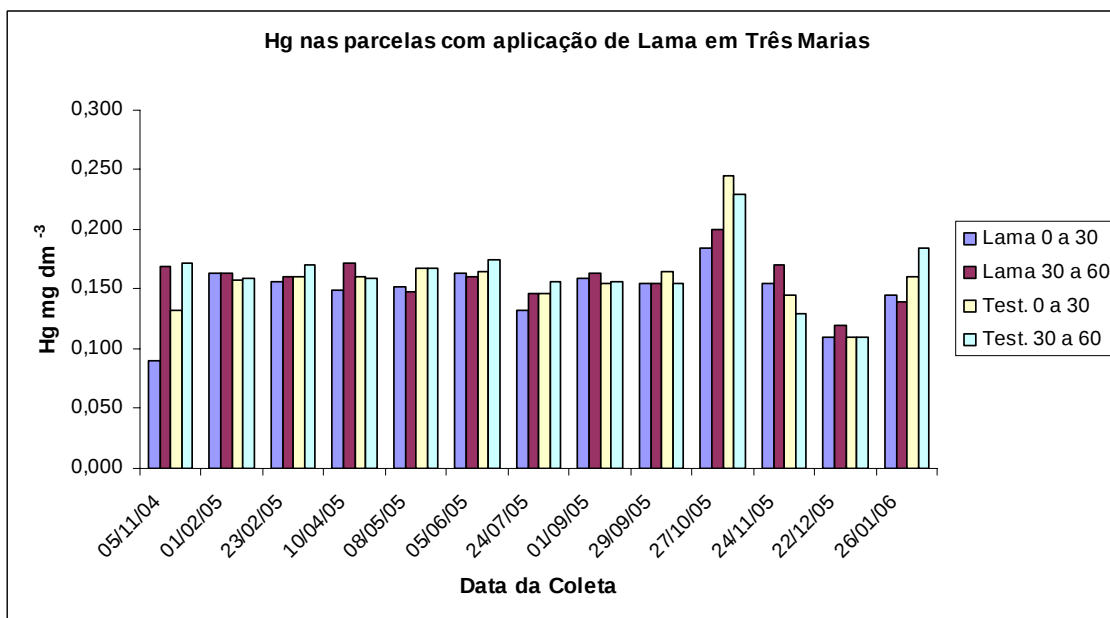


Figura 66. Mercúrio nas parcelas com aplicação de lama em Três Marias-MG.

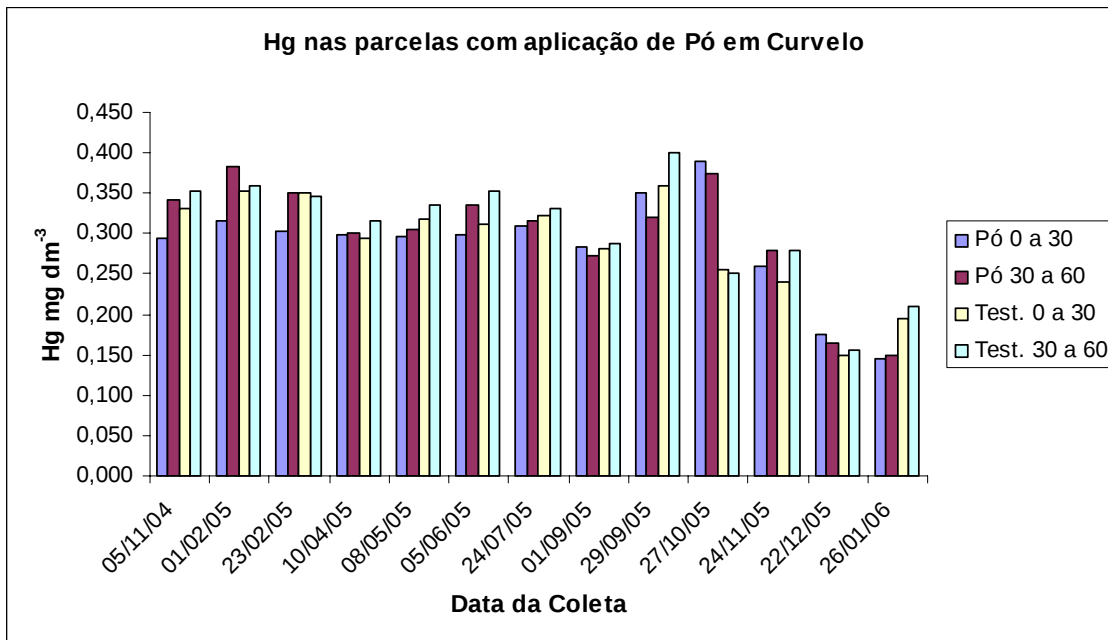


Figura 67. Mercúrio nas parcelas com aplicação de pó de balão em Curvelo-MG.

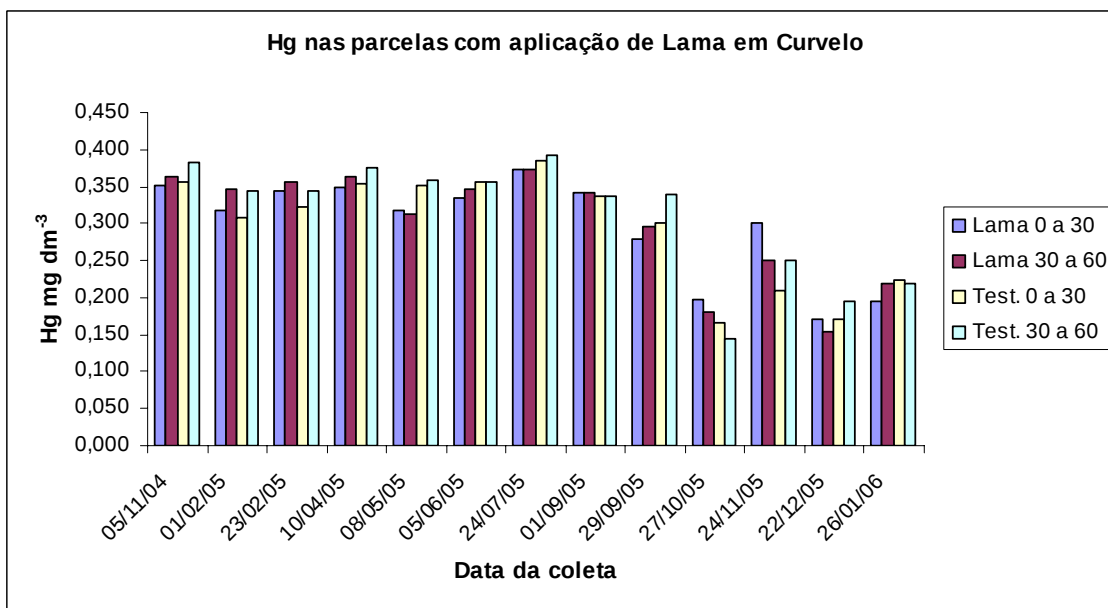


Figura 68. Mercúrio nas parcelas com aplicação de lama em Curvelo-MG.

4.2. Chumbo (Pb) no solo

Os teores de Pb total no solo encontram-se no quadro . A figura 69 apresenta a variação dos teores de Pb total no perfil do solo.

Quadro 20. Teores de Pb total no solo em função da profundidade

Profundidade (cm)	Teores (mg kg ⁻¹)
0 a 5	32,97
5 a 10	29,89
10 a 20	6,12
20 a 50	18,42
50 a 100	19,93

Observaram-se teores elevados de Pb no solo comparativamente aos teores médios deste elemento nos solos (10 a 15 mg kg⁻¹). A média ponderada dos teores no perfil de 0 a 100 cm de profundidade foi de 19,24 mg kg⁻¹. Verificou-se que nos primeiros dez centímetros de profundidade do solo, o Pb apresentou maior quantidade comparativamente aos valores observados na camada entre 10 e 20 sendo que estes valores apresentaram ligeiro acréscimo em função do aumento da profundidade amostrada.

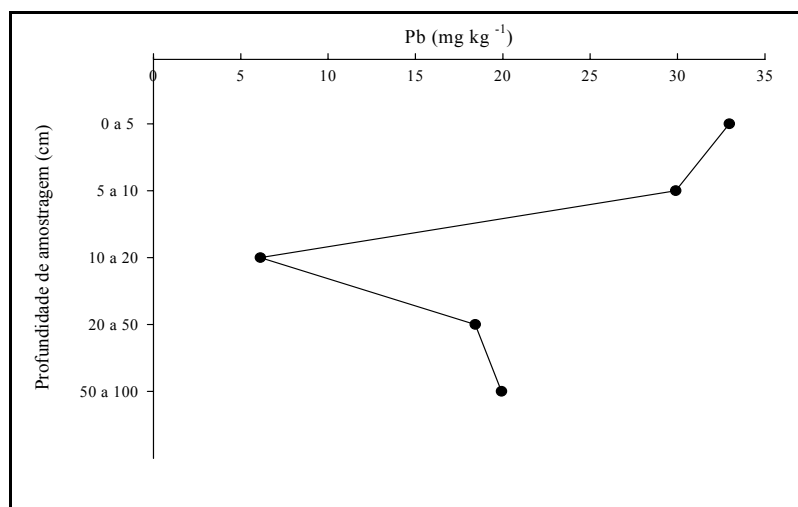


Figura 69. Variação dos teores de Pb total no perfil do solo.

A maior concentração de Pb nos dez primeiros centímetros de profundidade pode ser decorrente de deposições atmosféricas resultante do transporte de sedimentos de atividades industriais pelos ventos e, ou, estar relacionado à emissão de gases oriundos da queima de combustíveis em motores automotivos visto que, no passado, o chumbo tetraetila era utilizado como detonante em combustíveis. Foi descartada a possibilidade da maior concentração superficial de Pb estar relacionada à aplicação dos resíduos. Sabidamente o Pb é adsorvido no solo especificamente e, por consequência, muito pouco móvel. Desta maneira a maior concentração deste elemento nas camadas superficiais pode ser justificada, em grande parte, por atividades antropogênicas que não a aplicação dos materiais do presente estudo, haja vista que ainda não havia sido iniciada a aplicação dos mesmos nas áreas onde foram realizadas as amostragens.

A elevação dos teores nas profundidades de 20 a 50 e 50 a 100 cm, comparativamente à profundidade de 10-20 cm, pode ser atribuída ao material de origem desses solos. Segundo MALAVOLTA (1994), todas rochas da crosta terrestre contém Pb sendo que teores variam de 8 a 20 mg kg⁻¹ para os tipos de rochas comuns no Brasil. Para CHANEY (1984) e REAGAN & SILBERGELD (1984), valores de concentração de chumbo no solo da ordem de 30 mg kg⁻¹ são de ocorrência normal. Como o teor natural de um determinado elemento no solo está relacionado ao tipo de rocha existente, a geologia da região estudada indica que o solo da área onde foram realizadas as amostragens foi desenvolvido sobre rochas pertencentes ao Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba, mais precisamente a Formação Sete Lagoas essa região é constituída, predominantemente, por argilitos, ardósias, metassiltitos e calcários que, caracteristicamente apresentam teores de Pb entre 15 e 20 mg kg⁻¹ (MALAVOLTA, 1994).

Desta maneira, os teores de Pb neste solo podem ser justificados pela contribuição natural da rocha mãe, pela reciclagem pelas plantas e por fontes de contribuição antropogênica, esta talvez menos importantes comparativamente às duas outras.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar o impacto ambiental sobre os recursos naturais, solo e água, da aplicação no solo de resíduos gerados no sistema de limpeza de gases de uma indústria siderúrgica a carvão vegetal, foi conduzido o presente trabalho, durante o período de novembro de 2004 a janeiro de 2006 em duas áreas de plantio comercial de eucalipto uma na região de Três Marias-MG e a outra na região de Curvelo-MG.

As áreas são semelhantes nos atributos físicos, químicos, morfológicos e climáticos, variando a textura do solo (argiloso e arenoso, respectivamente). O monitoramento do solo e da água superficial e subterrânea, sob influência da aplicação dos resíduos, foi efetuado com 13 amostragens, a primeira de caracterização e as outras mensalmente após a aplicação dos resíduos. A água superficial foi monitorada com amostragens à jusante e à montante do local de aplicação em cursos adjacentes às áreas dos tratamentos (Córrego das Pedras em Curvelo-MG e Córrego das Éguas, em Três Marias-MG); a água subterrânea foi monitorada em amostragens em piezômetros construídos um em cota inferior e outro em cota superior relativamente à área de aplicação, tomando-se como referência às linhas de fluxo de escoamento superficial do terreno; e foram analisados os parâmetros DQO, Zinco, pH, Cromo Trivalente, Cromo Hexavalente, Cromo total, Fenóis Totais, Cianetos, Chumbo e Ferro. O monitoramento do solo, em cada área experimental, foi feito em 16 parcelas, de 1.000 m² cada uma, no delineamento inteiramente casualizado com parcelas pareadas. As amostragens de solo foram realizadas com a utilização de trados, em local aleatório, no

centro de cada parcela, sendo coletadas três amostras simples em cada parcela nas profundidades de 0 a 30 e de 30 a 60 cm para determinação dos teores disponíveis no solo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, chumbo, manganês, cobre, cádmio, níquel, mercúrio e fenóis totais.

A análise estatística dos dados foi feita pela definição de três contrastes a serem comparados dentro de cada local, profundidade e época de amostragem (C_1 – a diferença entre as testemunhas-; C_2 – diferença entre a aplicação de pó de balão e sua respectiva testemunha-; C_3 – diferença entre a aplicação de lama e sua respectiva testemunha.

Após a aplicação de resíduos não foram observadas alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Os parâmetros com valores acima dos regulamentares nas águas subterrâneas e superficiais podem ser atribuídos à geologia e pedologia locais.

Os teores dos elementos no solo não sofreram alterações em função da aplicação dos resíduos.

A aplicação dos resíduos não alterou significativamente os teores de metais pesados estando estes em quantidades consideradas como de ocorrência natural nos solos.

A aplicação de resíduos não resultou em alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas e nem nos teores dos elementos no solo, inclusive de metais pesados, estando estes em quantidades consideradas como de ocorrência natural nos solos sendo que Níquel, Cádmio, Cromo e Fenóis Totais não foram detectados nos solos em nenhuma coleta e profundidade.

6. BIBLIOGRAFIA

ALLOWAY, B. J. The origins of heavy metals in soils. In: Heavy Metals in Soils. New York: John Wiley, 1990. p. 29-39.

ALMEIDA, L. C. M. Biodisponibilidade de ferro em alimentos e refeições: aspectos atuais e recomendações alimentares. Goiânia: Revista pediatria moderna, 2002. v 38. n 6. p. 272-278.

ALMEIDA, M. L. B. Alternativas de uso e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, UFMG, 2001.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, I.E.; BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17, n.2, p.299-304, maio/ago.1993.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns solos e corretivos. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, v.16, p.271-276, 1992.

ANDREOLI, C.V. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar, Finep, 288p 1999;

APOITIA, L.F.M.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L.; HINDY, E. Caracterização preliminar da qualidade das águas subterrâneas na cidade de Cuiabá-MT. Boletim Paranaense de Geociências, n. 54, p. 7-17, 2004. Editora UFPR.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.004 - Resíduos Sólidos, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos, 1987.

AWWA; APHA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed., 1998.

BANCO REAL. Disponível em: <http://www.rie.com.br>. Acesso em 15 de agosto de 2003.

BARROS, N. F. Relação solo-eucalipto. Viçosa: UFV, Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, n.2, p.205-212, maio/ago. 1989.

BELITZ, H. D., GROSH, W. Food chemistry. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 774 p.

BITTELL & MILLER, cadmium and calcium selectivity coefficients on montmorillonite, illite and kaolinite, Journal of Environmental Quality 3 (1974) (3), pp. 250–253.

BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. Soil chemistry. New York, John Wiley & sons, p. 5 – 7, 1985.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo, CETESB, 1979. 764 p.

BRITSKI, H. A.; Sato, Y & Rosa, A. B. S. Manual de identificação de peixes da região de Três marias. 3ª ed. Brasília, CODEVASF. 1988. 115p.

CAMARGO, A. P. Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. Piracicaba, USP-ESALQ, 1972. 59p. (Dissertação, M.S.).

CARAZZA, F.; OKUMA, A.A. Alcatrão de Eucalyptus: fonte de aroma e sabores. In: SEMINÁRIO DE CARBOQUÍMICOS, 11., 2000, São Paulo. São Paulo: 2000. p. 271-279.

CASTRO L. F. A.; TAVARES R. P. Balanço Geral e Térmico do Alto-Forno. Belo Horizonte: Metalsider, 2002. 17 p.

CHANEY, R. L. The potential of heavy metal exposure from urban garden and soils. In: Symposium on heavy metals in urban gardens. 1984.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Contaminação ambiental por chumbo em torno da indústria FAÉ S/A - Indústria e Comércio de Metais, Caçapava - SP. São Paulo, 1993.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 1977.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Sistema de recirculação de águas de lavagem de cana, São Paulo, 1981.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Uso de Energia na Indústria de Ferro-Gusa Não Integrada em Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig, 1988. 270p.

COOK, C.M.; SGARDELIS, S.P.; PANTIS, J.D. & LANARAS, T. Concentrations of lead, zinc, and copper in *Taraxacum* spp. in relation to urban pollution. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. New York, 53:204-210, 1994.

CRAVO, M.S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v.22, p.547-553, 1998.

EKLUND, M. Cadmium and lead deposition around a swedish battery plant as recorded in Oak tree rings. *Journal of Environmental Quality*. Madison. 24:126-131, 1995.

EMBRAPA/SOLOS/EMRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA - Manual de Análises Químicas de Solos – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

ESTUDO QUÍMICO da lignina de *Paullinia rubiginosa*. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/Cerne/Revistav5n1-1999/artigo-5.pdf>. Acesso em 26 de fevereiro de 2003.

EWERS, U. & SCHLIPKÖTER, H.W. In: *Metals and Compounds in the Environment*. p.971-1014, by E. Merian. VCH, Weinheim -New York. 1991.

FIBRAS DIETÉTICAS. Disponível em: <http://www.soybean.com.br/fibras.htm>. Acesso em 25 de fevereiro de 2003.

Filella, M.; *Colloids Surf.*, A 1993, 73, 255.

FILGUEIRA, F. A. R. *Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e na comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FIRME, D. J. Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia com fosfato natural. Viçosa, MG. 55 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.

FNP CONSULTORIA E INFORMAÇÕES ESPECIALIZADA EM AGRONEGÓCIO. Disponível em: <http://www.fnponline.com.br>. Acesso em 14 de agosto de 2003.

GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de tipos de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo. *Bragantia*, 24:173-79, 1965.

JACOMINO, V. M. F.; SUZA, C. M. ; CASTRO, L. F. A.; RIBEIRO, E. D.; Avaliação dos riscos associados à presença de fenol no resíduo sólido (Pó-de-Balão) gerado pelas indústria independentes de produção de ferro-gusa. Belo Horizonte: 2003. 20p.

JENNY, H. Factors of soil formation. New York, McGraw-Hill, 1941. 281p.

KABATA PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 2.ed. Boca Raton: CRC, 1992.

KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LAGERWEFF, J.V. & SPECHT, A.W. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environmental Science & Technology*. Washington, 4:583-585, 1970.

LAGERWERFF, J.V. Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants. In: DINAUER, R.C. (Ed.). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p.593-628.

LAMIKANRA, O. Fresh cut fruits and vegetables: science, technology and market. Boca Raton: crc Press. 2002. 467 p.

LEVY, D.B.; BARBARICK, K.A.; SIEMER, E.G.; SOMMERS, L.E. Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near lead-Ville, Colorado. *Journal of Environmental Quality*. Madison, 21:185-195, 1992.

LIMA, M. S. M. Avaliação das características agronômicas do pó de balão gerado no sistema de limpeza de gás do alto-forno a carvão vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. 2003

LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

MACHADO, S.L.; RIBEIRO, L.D.; KIPERSTOK, A.; BOTELHO, M.B.B.; CARVALHO, M.F. Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro – BA. *Rev. Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 9 - Nº 2 - abr/jun, 140-155. 2004.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos. Piracicaba: ProduQuímica, 1994. 153p.

MANAHAN, S. E. Toxicological chemistry; a guide to toxic substances in chemistry. Chelsea: Lewis Publishers. 1989. 317p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern, International Potash Institute. 1982. 655p.

MILLER, W.P. & McFEE, W.W. Distribution of cadmium, zinc, copper, and lead in soils of industrial Northwestern Indiana. Journal of Environmental Quality. Madison, 12:29-33, 1983.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância Sanitária. Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Portaria 15, de 13 de março de 1990. Diário Oficial, Brasília, Seção 1, Quinta-feira, 15 de março de 1990.

MOREIRA-NODERMANN, L.M. A Geoquímica e o meio ambiente. Geochimica Brasiliensis, v.1, n.1, p.89-107, 1987.

NOVAIS R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo. Viçosa: UFV, 1996. 258 p.

OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS. Official Method 952.03. AOAC. Chapter 26, p. 16. 1995.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R. & ABREU JUNIOR, C. H. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 12, p. 1787-1793, dez. 2002.

OLIVEIRA, M. R.C. Caracterização e classificação do resíduo “pó de balão”, gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal – um estudo de caso na região de Sete Lagoas-MG. Quim. Nova, Vol. 26, No. 1, 5-9, 2003

PANOSO, L. A.; SANTANA, D. P.; BARUQUI, A. M.; BARUQUI, F. M.; ALMEIDA, J. R.; FERREIRA, M. B. & SOUZA, C. C. Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da área sob influência do reservatório de Três Marias – Minas Gerais. Belo Horizonte. HEPAMIG. Boletim técnico. 1978. 57, 236p.

PARKER, G.R.; McFEE, W.W.; KELLY, J.M. Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural Northwestern Indiana. Journal of Environmental Quality. Madison, 7:337-342, 1978.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; OLIVEIRA, L.R.; CURI, N.; SILVA, M.L.N. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio sobre a adsorção/dessorção de

chumbo em Latossolos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília. v. 36, n. 8, p. 1077-1084, ago. 2001.

PIGOZZO, A. T. J. Disposição de lodo de esgoto: Acúmulo de metais pesados no solo e em plantas de milho (*Zea mays* L.). Tese (Doutorado). UNESP, Botucatu, São Paulo-SP. 2003.

PORTARIA Nº 685, DE 27 DE AGOSTO DE 1998 – Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos em alimentos. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/base/visadoc/PORT/PORT\[1724-2-0\].HTM](http://www.anvisa.gov.br/base/visadoc/PORT/PORT[1724-2-0].HTM)>. Acesso em: 13 de Fevereiro de 2003.

PROJETO MINAS AMBIENTE, 1, 2002. Belo Horizonte. Minas Ambiente. Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal. Belo Horizont. 2002. 302 p.

RAIJ, B. V. Estudo de materiais calcários usados como corretivos do solo no estado de São Paulo. IV – o poder relativo de neutralização total. *Bragantia*, 36: 139-45, 1977.

REAGAN, P. L. & SILBERGELD, E. K. Establishing a health based standard for lead in residential soils. *Trace substances in environmental health*. 1989.

RELATÓRIO Técnico Anual das Atividades no Convênio - FINEP/UFV. Viçosa. 54/84/0289/00. Nutrição, Fertilização e Manejo de Solos sob Reflorestamento e Utilização de Escória de Siderurgia como Corretivo e Fertilizante do Solo. Universidade Federal de Viçosa, 1985. 168 p. (Relatório Técnico, 3).

RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATTOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escoria de aciaria como corretivo da acidez do solo. Viçosa, MG. *R. Ceres*, 33: 242-48, 1986.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RIBEIRO, A. C.; MELLO, J. W. V. ; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; DIAS, L. E. Propriedades físico-químicas do solo; acidez e calagem do solo – Módulo 4 – Curso de fertilidade e manejo do solo . Viçosa: Associação Brasileira de Educação Superior - ABEAS, 1996. 68p.

ROCHA, S. H. F. S. Aproveitamento de resíduos gerados na limpeza dos gases de alto-forno através da briquetagem. Belo Horizonte. 150 p. Dissertação Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

ROMEIRO, S. B. B. Química na siderurgia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997. Porto Alegre-RS

SALGADO, P. E. T. Toxicologia de metais. In: OGA, S. (Ed.) Fundamentos de toxicologia. São Paulo: Atheneu Editora de São Paulo, 1996. p. 156-172.

SIDERÚRGICA MENDES JÚNIOR (Juiz de Fora, MG). Resíduos sólidos gerados na S.M.J. Juiz de Fora, 1988. não paginado.

SIF. 1980. Resumo dos dados de experimentos de adubação de eucalipto. Viçosa, 40p.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNADES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Pesq. Agropec. Bras. Brasília. v. 36, n. 5, p. 831-840, maio. 2001.

SILVA, R. M. Minerais associados às apatitas: análise de sua influência na produção de ácido fosfórico e fertilizantes fosfatados. Araxá. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da USP, 1994.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Competitividade e Perspectivas Da Industria Mineira De Ferro-Gusa. Belo Horizonte: Fiemg, 1997. p. 6-7.

SOUZA, C. M. Estudo de solos na área de influência do escorregamento da cava 1 na Mineração Rio Verde LTDA. Viçosa: UFV, 2003. 22 p.

SOUZA, C. M.; SILVA, C.S. W.; LIMA, M. S. M.; JACOMINO, V. M. F.; CASTRO, L. F. A., RIBEIRO, E. D. L. Caracterização da escória da produção de ferro-gusa a carvão vegetal para uso agrícola. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS - PRIMAS, 11., 2002, Vitória, ES. Revista Metalurgia e Materiais, v. 59, n. 530, fevereiro 2003 p. 3-8.

SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). Methods of soil analysis: chemical methods. Madison : Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1996.

SUMMER, M. E. (Ed). Handbook of soil science. Glen Osmond: CSIRO, 1999. 200 p.

TACKETT, S.L. Lead in the environment: effects of human exposure. American Laboratory. Shelton, 19:32-41, 1987.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. Agron., 38:45-94, 1985.

TSUTIYA, M.T. Tecnologias emergentes para disposição final de biossólidos de ETEs. In: Anais do 20º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, I-141,p.61, maio 1999;

U.S. Environmental Protection Agency – EPA. Disponível em: http://_www.epa.gov. Acesso em 10 de julho de 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA/CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
DEPARTAMENTO DE SOLOS /ROTEIROS DE AULAS PRÁTICAS DE SOL 375 E
SOL 371 – Análise química de solo, planta e de calcário – Viçosa: UFV, 1999. p. 1-40.

WOPEREIS, M.C.; ASCUEL-ODOUX, C.; BOURRIE, G. & SOIGNET, G. Spatial
variability of heavy metals in soil on an one-hectare scale. *Soil Sci.*, 146:113-118, 1988.

XING, B. & DUDAS, M.J. Trace and rare earth element content of white clay soils of the
Three River Plain, Heilongjiang Province, P.R. China. *Geoderma*. 58:181-199, 1993.

YOSHINAGA, S. Conceitos básicos de hidrogeologia. São Paulo: CETESB, 1993. 30p.
(curso de águas subterrâneas: controle e prevenção de poluição).

ZABOWSKI, D. & ZASOSKI, R.J. Cadmium, copper and zinc. Adsorption by a forest soil
in the presence of sludge leachate. *Water, Air, Soil Poll.* v. 36:103-130, 1987.

ZAMORA, P.P.; CORDEIRO, G.A.;NAGATA, N. Utilização de regressão multivariada
para avaliação espectrofotométrica da demanda química de oxigênio em amostras de
relevância ambiental. *Química Nova*. V. 28. São Paulo-SP. 2005.