

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ADUBAÇÃO MINERAL, ESTERCO DE CURRAL E LODO DE ESGOTO  
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO**

**CASSIANO AUGUSTO DE NADAI MOBRICCI**

Orientador: Prof. Adj. Hélio Grassi Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Agronomia  
(Agricultura).

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ADUBAÇÃO MINERAL, ESTERCO DE CURRAL E LODO DE ESGOTO  
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO**

**CASSIANO AUGUSTO DE NADAI MOBRICCI**

Orientador: Prof. Adj. Hélio Grassi Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Agronomia  
(Agricultura).

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO  
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M687a Mobricci, Cassiano Augusto de Nadai, 1977-  
Adubação mineral, esterco de curral e lodo de esgoto no  
desenvolvimento inicial do cafeeiro / Cassiano Augusto de  
Nadai Mobricci. - Botucatu, [s.n.], 2006.  
viii, 64 f. : gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006  
Orientador: Hélio Grassi Filho  
Inclui bibliografia

1. Café - Cultivo. 2. Lodo de esgoto. 3. Matéria orgânica.  
4. Plantas - Efeito dos metais pesados. 5. Bovino - Ester-  
co. I. Hélio Grassi Filho. II. Universidade Estadual Pau-  
lista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Fa-  
culdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

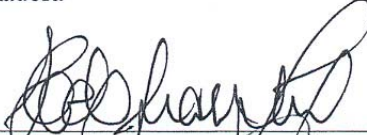
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "ADUBAÇÃO MINERAL, ESTERCO DE CURRAL E LODO DE ESGOTO  
NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO"**

ALUNO: CASSIANO A. DE NADAI MOBRICI

ORIENTADOR: PROF. DR. HELIO GRASSI FILHO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. HELIO GRASSI FILHO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. LEANDRO BORGES LEMOS

  
\_\_\_\_\_  
DR. CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS

Data da Realização: 27 de janeiro de 2006.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô **Gregório de Nadai**, maior responsável pela minha decisão de fazer Agronomia. Sei que me acompanha o tempo todo, retira as maiores pedras do meu caminho e me ilumina nas tomadas de decisões. Vovô, infelizmente o destino não permitiu vivenciarmos juntos este tão esperado momento, mas tenho certeza que daí de onde está vibra comigo mais uma vez.

**“O verdadeiro mestre não é somente aquele que ensina, mas o que inspira.”**

A minha esposa e amiga **Luciana**, por me ensinar que amar é dedicação e entrega. Pela presença em todos os momentos, pela paciência e incentivo nesta longa caminhada. Por saber me aceitar, valorizar, admirar e compreender. Simplesmente por ser minha companheira em tudo e em todas as horas. Obrigado Lu, por me colocar sempre no rumo certo, por encher o meu dia de alegria e amor.

Aos **meus pais**, inesgotável fonte de incentivo, apoio constante em todas as minhas decisões, mesmo quando não pareciam demasiadamente compreensíveis aos vossos olhos. Se hoje tenho alcançado meus objetivos devo tudo à educação que vocês me deram, evidenciando que a humildade está acima de todas as virtudes e a verdadeira grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las.

## AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço em primeiro lugar a **Deus**, por me dar forças para vencer mais esta batalha e por me fazer perceber que quanto mais acredito nele, mais Ele acredita em mim.

Agradeço especialmente ao **Prof. Dr. Hélio Grassi Filho**, pela orientação nas decisões tomadas para realização deste trabalho. À esta pessoa admirável, que sabe conduzir diferentes caminhos com segurança, seriedade, paciência e respeito. As lições aprendidas por mim com certeza vão muito além desta Dissertação: são lições de profissionalismo e dignidade. Levarei comigo todos os seus ensinamentos e principalmente seu exemplo de vida. Muito obrigado, que Deus o abençoe sempre.

Ao **Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos**, pela colaboração em todos os momentos difíceis que necessitei de seu auxílio. Pelo seu profundo conhecimento, competência, paciência, respeito, atenção e principalmente pela presença constante durante esses últimos anos. Agradeço à nossa grande amizade...

Ao **Prof. Dr. Leandro Borges Lemos**, pessoa presente desde meus primeiros passos na graduação, grande inspirador pela opção de trabalhar com cafeicultura. Pela sua amizade de tantos anos, pelas oportunidades cedidas, pela confiança em meu trabalho. Jamais esquecerei os ensinamentos que me passou com seu jeito simples, honesto e igualmente grandioso de tratar tudo e todos. Muito obrigado de coração.

**“Sozinhos podemos chegar mais rápido  
Mas acompanhados podemos ir muito mais longe...”**

## AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que, em qualquer momento, colocaram-se disponíveis para que hoje, juntos e felizes, pudéssemos participar desta conquista, a minha gratidão... A minha amizade àqueles que me quiseram bem e me apoiaram, nos bons e nos maus momentos. O meu perdão àqueles que, por motivos alheios à minha vontade, não me compreenderam. As minhas desculpas se houve momentos em que não foi possível mudar. Meus sinceros agradecimentos àqueles que confiaram na honestidade deste trabalho.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito”.

(Madre Teresa de Calcutá)

Ao CNPq pelo auxílio financeiro que foi concedido, possibilitando a realização deste projeto (Processo 130348/2004-0).

À Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Botucatu e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura, pela oportunidade oferecida para a concretização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Sílvio José Bicudo, na ocasião, Supervisor das Fazendas de Ensino Pesquisa e Produção (FEPP) pela oportunidade dada junto ao Programa de Residência, a qual me abriu a portas para o mestrado e ao mercado de trabalho.

Aos funcionários das Fazendas de Ensino Pesquisa e Produção por toda dedicação e amizade desprendida na época da residência.

A todos os meus familiares, que direta ou indiretamente colaboraram com essa conquista, orando e torcendo por mim, incentivando cada passo dado.

Aos meus amigos, especialmente Rodrigo Barbosa (Tuvira) e Juliany Quitzan, por toda ajuda nos momentos em que mais necessitei.

Aos professores das disciplinas cursadas ao longo do período, por contribuir para o enriquecimento profissional e pessoal.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo, especialmente, dos laboratórios de análise de solo e planta, por toda dedicação e eficiência nas análises solicitadas.

Aos funcionários Jair e Noel, pela dedicação e auxílio na condução do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Área de Agricultura, especialmente ao Dorival, técnico do Laboratório de Relação Solo-Planta, por colaborar, e muito, na realização das análises de metais pesados.



## SUMÁRIO

	Página
<b>1. RESUMO .....</b>	1
<b>2. SUMMARY .....</b>	3
<b>3. INTRODUÇÃO.....</b>	5
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	9
4.1. A importância econômica.....	9
4.2. Crescimento e influência do clima no desenvolvimento do cafeeiro ....	10
4.3. Características Vegetativas e Nutrição do cafeeiro .....	10
4.4. Adubação do cafeeiro com lodo de esgoto. ....	12
4.5. Recomendação para lodo de esgoto e mineralização do nitrogênio .....	13
4.6. Resposta de culturas à fertilização com lodo de esgoto .....	15
4.7. Comparação entre o lodo de esgoto doméstico e o lodo de esgoto industrial .....	16
4.8. Elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas .....	17
4.9. A contaminação do solo com metais pesados .....	18
4.9.1. Retenção de metais na superfície orgânica .....	20
4.9.2. Solubilização de metais pela formação de complexos .....	22
4.9.3. Fitodisponibilidade, acúmulo e movimentação de metais pesados .....	22
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	25
5.1. Instalação e condução do experimento .....	25
5.1.1. Cálculo para aplicação de calcário, fertilizantes minerais e	

fertilizantes orgânicos.....	27
5.2 Análise estatística .....	31
5.3. Características avaliadas .....	31
5.3.1 Análise da química do solo .....	31
5.3.2 Análise da química do tecido vegetal .....	32
5.3.3 Determinação dos parâmetros biométricos .....	32
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
6.1. Química do solo .....	33
6.2. Diagnose foliar .....	43
6.3. Parâmetros biométricos .....	48
6.4. Considerações finais .....	53
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>

## LISTAS DE FIGURAS E TABELAS

	Página
<b>FIGURA 1</b>	Altura das plantas submetidas aos tratamentos e avaliadas a cada 60 dias ..... 49
<b>FIGURA 2</b>	Diâmetro de copa plantas submetidas aos diferentes tratamentos e avaliadas a cada 60 dias ..... 51
<b>TABELA 1</b>	Concentrações limites no solo de metais no lodo e taxa de aplicação anual máxima (CETESB,1999) ..... 14
<b>TABELA 2</b>	Características químicas de amostras de solo do experimento em túnel plástico, antes da aplicação dos tratamentos ..... 25
<b>TABELA 3</b>	Análise química de folhas de cafeeiro, antes da aplicação dos tratamentos ..... 26
<b>TABELA 4</b>	Análise química dos resíduos orgânicos, antes da aplicação dos tratamentos..... 27
<b>TABELA 5</b>	Tratamentos utilizados na implantação do experimento em túnel plástico..... 29
<b>TABELA 6</b>	Resultados de pH, MO, SB, CTC e V%, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos, em Botucatu, SP ..... 33
<b>TABELA 7</b>	Resultados de N, P, K, Ca, Mg, Al <sup>3+</sup> , H+Al e S no solo, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos ..... 36
<b>TABELA 8</b>	Resultados de B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos ..... 39
<b>TABELA 9</b>	Resultados dos metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb no solo, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos..... 41

<b>TABELA 10</b>	Resultados dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de cafeeiro aos 12 meses de idade .....	43
<b>TABELA 11</b>	Resultados dos teores de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn em folhas de cafeeiro aos 12 meses de idade .....	45
<b>TABELA 12</b>	Resultados dos teores de metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e Se em folhas de cafeeiro aos 12 meses de idade .....	47

## 1 RESUMO

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo do tratamento das águas servidas, sejam domésticas, industriais ou agroindustriais, contendo níveis de matéria orgânica, macro e micronutrientes fundamentais para a fertilidade do solo. O presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de plantas de café, comparando a utilização de lodo de esgoto, esterco de curral curtido (EC) e adubação mineral, avaliando-se o desenvolvimento das plantas, alterações na fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas, bem como o acúmulo de metais pesados que pudessem atingir concentrações fitotóxicas para o solo e às plantas manejadas com as diferentes doses de lodo de esgoto. O experimento foi instalado em vasos de 20 litros preenchidos com LATOSSOLO VERMELHO. Foi utilizado o cultivar de café Tupi, linhagem IAC 1669-33 como planta indicadora. Constituiu de nove tratamentos e oito repetições, totalizando 72 plantas. Foram avaliados a cada dois meses os parâmetros de altura das plantas e diâmetro da copa. Depois de 12 meses foi avaliada a composição química das folhas fisiologicamente maduras, visando determinar N, P, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn e Mo e os metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni e Se. No mesmo período foram retiradas amostras de solo das parcelas, onde quatro amostras simples foram homogeneizadas, secas ao ar e peneiradas para posteriormente ser retirada uma amostragem composta para se determinar os nutrientes. As médias das características foram avaliadas pelo quadro de análise de variância (ANAVA) e regressão linear múltipla e comparadas pelo Teste de Tukey a um nível de 5% de significância. Os resultados comprovam a eficiência do lodo de esgoto no fornecimento de nutrientes às plantas de café, principalmente, N, P, Ca, Mg, Mo, Cu, Zn e na redução da acidez ativa e potencial dos solos. A elevação do pH e o aumento dos teores de

matéria orgânica proporcionado pelos tratamentos com LE e EC contribuíram para a menor mobilidade dos metais pesados no solo e nas folhas, não atingindo níveis considerados críticos para o meio ambiente ou para as plantas de café.

**EVALUATION OF SEWAGE SLUDGE AND CORRAL MANURE USAGE ON COFFEE PLANTATION (*Coffea Arabica*, L.),** Botucatu, 2006. 64p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CASSIANO AUGUSTO DE NADAI MOBRICCI

Adviser: HÉLIO GRASSI FILHO

## **2. SUMMARY**

The sewage sludge is a residue of served water treatment (domestic, industrial or agoinustrial water), with organic material levels and basic macro and micronutrients for the soil fertility. This work had the aim of studying the behavior of coffee plants, comparing the sewage sludge, corral manure and mineral fertilization usage, evaluating the plants development, soil fertility alterations and plants nutritional state, as well the accumulation of heavy metal which could reach biotoxic concentrations for the soil and plants treated with the different doses of sewage sludge. The experiment had been installed in 20 liters vases filled with RED LATOSSOIL. It had been used Tupi Coffee, ancestry IAC 1669-33 as indicator plant. The experiment had been constituted of 9 treatments and 8 replications, totaling 72 plants. The biometrics parameters of plants had been evaluated in each 2 months, as plants height, cop diameter. After 12 months, the chemical compound of physiological mature leaves had been evaluated, aiming to determine N, P, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn Zn, Mo and the heavy metals As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb and Se. In the same period, soil samples had been removed from the plots, in which 4 simple samples had been homogenized, dried in air and sifted, and later, compound samples had been removed to determine the nutrients. The averages of the characteristics had been evaluated by the variation analysis chart (ANAVA) and multiple linear regression and compared by the Tukey Test, with 5% significance level. The results prove the efficiency of sewage sludge to provide nutrients to coffee plants, mainly N, P, Ca, Mg, Mo, Cu, Zn and reduce the active and potential acidity of soils. The pH elevation and organic material tenors increase provided by the sewage sludge and corral manure treatments conduced a smaller mobility of heavy metals in soils and leaves,

not reaching critical levels to the environment or to the coffee plants.

---

Keywords: sewage sludge, *Coffea arabica*, organic material, heavy metals.



### 3 INTRODUÇÃO

A espécie *Coffea arabica*, oriunda da Etiópia, é largamente plantada no Continente Americano, sendo o Brasil o país que tem a mais extensa área de cultivo, onde se adaptou a diferentes condições de clima e solo. A cultura do café é bastante exigente em nutrientes, extraindo e exportando quantidades variáveis no solo de um ano para outro, em decorrência da sua bienalidade de produção.

Atualmente o Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador de café do mundo, entretanto, sabe-se que sua participação no mercado internacional tem sido decrescente, de maneira que na década de 60, o Brasil chegou a deter mais de 40% do total da produção mundial de café, ao passo que nos anos 90 sua participação caiu para aproximadamente 20%. No entanto, observa-se nos principais mercados importadores de café do Brasil, redução do consumo de café comoditie em relação aos cafés especiais.

A retomada dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento é reputada como decisiva para conquistar vantagens competitivas para o café brasileiro. Os efeitos da atuação interrupção das pesquisas cafeeiras serão, possivelmente, notados de maneira mais clara pelos componentes do agronegócio no futuro.

A safra nacional 2005 está estimada em 35,80 milhões de sacas de 60 kg (2.149.965 t). Os seis maiores estados produtores são, em ordem decrescente, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná.

No mercado externo, destaca-se a crescente exportação de cafés torrados e moídos de alta qualidade (gourmet), fruto do esforço de entidades e produtores empenhados em achar destinos mais lucrativos para o café brasileiro, em oposição ao tradicional mercado de commodities, que tanto desvaloriza nossos cafés. Deve-se também destacar os leilões de cafés especiais (bebida mole), que apesar de serem vendidos verdes, tem alcançado preços muito acima de qualquer expectativa otimista, ainda que comercializados em lotes pequenos. Mais importante que alguns negócios externos feitos por poucos cafeicultores é a crescente mudança de postura dos produtores, que cada vez mais se conscientizam do enorme potencial que representa o café brasileiro no mundo. A certificação do produto é outra preocupação do setor produtivo, consciente que a qualidade do grão está diretamente ligada aos tratos ao café ainda no campo, muito mais que o beneficiamento industrial.

A maior safra da cafeicultura nacional, colhida em 2002 e a grande oferta mundial, contribuíram para pressionar os preços internacionais a patamares muito baixos, que só começaram a reagir a partir de 2003, assim mesmo muito lentamente. A situação se refletiu no campo. A erradicação ocorrida em tradicionais regiões produtoras foi decorrente da depauperação das lavouras pela falta de tratos culturais, calagem, adubação e aplicação de defensivos. Com os custos de produção em alta, preços estagnados ou em queda e excesso de produção, o resultado não poderia ser outro senão a crise, que persistiu até o final de 2003, reverteu-se durante 2004 e finalmente apresenta um quadro favorável em 2005.

Com a reação dos preços pagos pela saca de café ao produtor, este se vê estimulado a incrementar os tratos culturais visando uma maior produtividade de sua lavoura. É o momento de se buscar alternativas que possam ir de encontro a essas necessidades, proporcionando um resultado satisfatório.

O lodo de esgoto (LE) por ser um resíduo do tratamento das águas servidas, sejam domésticas, industriais ou agroindustriais, contém níveis de matéria orgânica, macro e micronutrientes fundamentais para a fertilidade do solo.

As possibilidades de aplicação desses resíduos sólidos com fins agrícolas, como forma de compatibilizar adequadamente as necessidades de uso de fertilizantes em alguns cultivos e a destinação final destes rejeitos vêm sendo consideradas muito promissoras, sendo, nos últimos anos, realizadas inúmeras pesquisas a respeito. Porém, mesmo sendo uma das práticas mais antigas de tratamento e disposição final de esgotos sanitários, o

desenvolvimento da microbiologia sanitária e as crescentes preocupações de saúde pública fizeram com que esta alternativa se tornasse praticamente desaconselhada em meados do século passado. Por outro lado, diversos fatores contribuíram para, mais recentemente, o interesse na reutilização destes materiais fosse renovado, como, por exemplo, o avanço do conhecimento técnico-científico sobre o potencial e as limitações dessa reutilização agrícola e suas inegáveis vantagens como fertilizantes, controle de poluição ambiental, reciclagem de nutrientes e aumento da produção de diversas culturas.

Regiões agrícolas próximas aos grandes centros urbanos são caracterizadas pelo uso intensivo dos recursos naturais, principalmente do solo. Com a adoção de políticas públicas que incentivam a reciclagem de lixos e o tratamento de esgoto, são geradas quantidades apreciáveis de matéria orgânica de origem urbana, disponível aos agricultores. Esses resíduos destinam-se ao uso agrícola, devido às quantidades apreciáveis de nutrientes minerais que fazem parte da sua composição.

A produção desses resíduos, ainda hoje incipientes na grande maioria das cidades brasileiras, tenderá a aumentar em função do crescimento populacional, industrial e pelo aumento da conscientização em relação à necessidade de despoluição ambiental. Os estudos revelam uma grande aptidão para o uso agrícola, quer como condicionante das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pelo seu conteúdo em matéria orgânica, quer como fonte de nutrientes para as plantas cultivadas. Elementos como nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), entre outros, encontram-se em quantidades variáveis nesses resíduos, dependendo da origem do processo de produção, quantidades essas, às vezes, suficientes para atender as necessidades das plantas. Portanto, sua verdadeira composição química depende basicamente do nível sócio-cultural da região, sendo bastante heterogênea e dependente da origem dos resíduos, mais domésticos ou mais industriais.

Originado das estações de tratamento de esgoto, o LE apresenta cerca de 1 a 6 % de Nitrogênio (base seca) na forma orgânica e inorgânica (nitrogênios amoniacal -  $\text{NH}_4^+$  e nitrato + nitrito -  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ), sendo, geralmente, um dos constituintes de maior valor desses resíduos. Desta forma, podem ser utilizados como fator limitante para definição da dosagem máxima de lodo a ser aplicado no solo.

Contudo, o constante aumento na geração desses resíduos, proporcional ao crescimento e desenvolvimento das populações urbanas, vem se transformando em um dos maiores problemas ambientais da atualidade.

O trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de plantas de café, comparando a adubação mineral com a utilização de lodo de esgoto e esterco de curral curtido, avaliando-se o desenvolvimento das plantas, alterações na fertilidade do solo e o estado nutricional das folhas, bem como o acúmulo de metais pesados que possam vir a atingir concentrações fitotóxicas para as plantas manejadas com as diferentes doses de lodo.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Importância econômica

Não há projeto consistente de agricultura competitiva no Brasil sem que se coloque o café em lugar de destaque, como um de seus principais segmentos. O café tem a vantagem de ser viável em escalas menores e gerar maior renda e empregos por unidade de área. Só no Estado de São Paulo, o agronegócio do café movimenta anualmente cerca de cinco bilhões de reais e mantém aproximadamente quinhentas mil pessoas empregadas. No entanto, o produto final atualmente, também denominado “Novo Café”, exige requisitos fundamentais para ser competitivo: produtividade e qualidade, associados, obrigatoriamente, aos custos reduzidos (VEGRO et al., 1997).

O aumento da eficiência produtiva e a melhora da qualidade tornaram os cafés brasileiros altamente competitivos e, ao mesmo tempo, mudaram a imagem do país, ou seja, passando de produtor de quantidade para produtor de quantidade e qualidade.

O Brasil hoje fornece grandes volumes de cafés comerciais, quantidades substanciais de produtos com qualidade diferenciada (finos e extrafinos) e participa do seleto grupo de produtores de cafés especiais (AGRIANUAL, 2003), entre eles o café orgânico.

Por isso, as *commodities* agrícolas tradicionais, como o café, nas últimas três décadas, vem requerendo escalas de produção para compensar os custos crescentes, que reduzem as margens de lucro. Assim sendo, os sistemas de produção orgânica e

organominerais podem mostrar melhor desempenho econômico, traduzido por maiores relações custo-benefício e maiores rendas efetivas (CARMO & MAGALHÃES, 1999).

#### **4.2 Crescimento e influência do clima no desenvolvimento do cafeeiro**

O cafeeiro é cultivado em diversas regiões do Brasil, sob diversas variações de temperatura e níveis de precipitação. No entanto, ele não permite amplas variações térmicas, apresentando problemas de desenvolvimento sob temperaturas abaixo de 18°C e acima de 23°C, sendo considerado ideal a faixa entre 19 e 21°C (TOLEDO et al., 2002).

O rendimento do cafeeiro é sensivelmente afetado pela limitação hídrica, que é capaz de elevar em 45% o índice de grãos malformados (chochos) quando a deficiência coincide com a fase de granação, o que reduz significativamente o crescimento vegetativo e a produção seguinte (CAMARGO et al., 1984).

#### **4.3 Características vegetativas e nutrição do Cafeeiro**

O cafeeiro é um arbusto com altura variando de dois a quatro metros, tronco cilíndrico, raiz pivotante, profunda e muito ramificada, principalmente, nas proximidades da superfície do solo. Apresenta ramos laterais primários longos e flexíveis, contendo também ramificações secundárias e terciárias. É uma espécie tetraplóide, que se multiplica predominantemente por autofecundação (TOLEDO et al., 2002).

Segundo Toledo et al. (2000) o cafeeiro possui uma característica fisiológica própria em seu desenvolvimento vegetativo chamado dimorfismo de ramos, que significa a emissão ou formação de dois tipos diferenciados de ramos a partir do tronco principal, com funções diferentes. A maioria dos ramos que ocorrem no cafeeiro são os

produtivos, que se originam das gemas “cabeça de série” e são perpendiculares ao tronco principal formando a copa do cafeeiro. Os outros ramos nascem e crescem verticalmente, paralelos ao tronco principal do cafeeiro, são originados das gemas seriadas e são chamados de ortotrópicos.

Esta cultura é altamente sensível a desequilíbrios nutricionais, necessitando de atenção especial quanto a sua nutrição. Em razão disso, a produtividade do café no Brasil, tem sido muito baixa ao longo dos anos, mesmo sendo colocadas à disposição do produtor variedades altamente produtivas, sugerindo, desse modo, que algumas práticas, necessárias para que os cafeeiros manifestem o seu potencial produtivo, não vêm sendo adequadamente utilizadas e, certamente, a adubação e calagem são algumas delas (CHAVES, 1986).

Os elementos minerais exigidos são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). Segundo o Boletim 100 do IAC (Raij et al., 1997) os teores totais de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o cafeeiro, de acordo com a análise foliar são: 26-32 g kg<sup>-1</sup> de N; 1,2-2,0 g kg<sup>-1</sup> de P; 18-25 g kg<sup>-1</sup> de K; 10-15 g kg<sup>-1</sup> de Ca; 3,0-5,0 g kg<sup>-1</sup> de Mg e 1,5-2,0 g kg<sup>-1</sup> de S, 50-80 g kg<sup>-1</sup> de B, 10-20 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 50-200 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 50-200 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, 0,10-0,20 mg kg<sup>-1</sup> de Mo e 10-20 mg kg<sup>-1</sup> de Zn.

Amaral et al. (2000) comparando a eficiência nutricional de quatro cultivares diferentes de café, observaram que houve uma diminuição no crescimento das plantas à medida que se aumentou o nível de adubação, sendo possível que no nível mais elevado de adubação possa ter ocorrido maior acidificação da rizosfera, prejudicando assim o desenvolvimento delas.

Santinato & Silva (2000) estudando o efeito dos macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu e Mn) na formação e produção do cafeeiro concluíram que a ausência da adubação com K, Mg, P, Zn, B, N, S, Cu e Mn reduz a produtividade em respectivamente 56%, 51%, 50%, 40%, 37%, 33%, 27%, 24%, 23% e 9%.

#### **4.4 Adubação do cafeeiro com lodo de esgoto**

A adubação orgânica no cafeeiro tem grande importância na medida em que promove o fornecimento de nutrientes e melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Existem diversos materiais que podem ser utilizados como adubos orgânicos, sendo que a composição química e o valor nutricional destes produtos dependem do tipo e da origem do material (CAIXETA & PEDINI, 2002).

O LE tem sido objeto de estudo por pesquisadores de diversas áreas. Este material constitui hoje um sério problema com o aumento da população urbana, que traz como consequência o crescimento do volume de esgoto sanitário coletado pelas redes de captação das cidades. A sua destinação final inadequada pode ocasionar sérios problemas de poluição ao meio ambiente, pois pode causar a disseminação de doenças e a contaminação do lençol freático e das águas superficiais por metais pesados, nitrato e fosfato (TSUTIYA et al., 2002).

Como fertilizante orgânico na agricultura, o LE promove o fornecimento de nutrientes para as plantas e atua como condicionador das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Entretanto, seu uso necessita de estudos amplos e cuidadosos para se evitem consequências indesejáveis ao meio ambiente e à saúde humana (TSUTIYA et al., 2002).

A cultura do café possui algumas características promissoras para a reciclagem do LE, como a sua alta exigência em nutrientes, o espaçamento entre covas que facilita a aplicação mecanizada do lodo. Segundo Martins (2003), para os frutos, os estudos demonstram que, não há uma translocação significativa de metais pesados em comparação com as folhas. Dessa forma, torna-se necessário definir as quantidades máximas anuais e acumuladas a serem aplicadas de LE de forma a otimizar o desenvolvimento e a produção do cafeeiro, evitar o acúmulo de metais pesados no solo a níveis tóxicos e manter a concentração desses elementos nas folhas abaixo do estabelecido por Kabatta Pendias & Pendias (1986), e no fruto abaixo do limite máximo exigido pelo Ministério da Saúde para a comercialização do produto.



A matéria orgânica, embora represente geralmente menos que 5% dos componentes sólidos, é responsável por cerca de 30 a 65% da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos minerais e mais de 50% da de solos arenosos e orgânicos. Portanto, desde que utilizada de forma equilibrada e balanceada, observando-se o conteúdo de nutrientes e o seu preço final, a matéria orgânica pode substituir a adubação química (FERNANDES et al., 2000).

A possibilidade de substituição parcial das adubações NPK por adubos orgânicos é evidenciada em outros estudos, desde que se mantenha o equilíbrio das adubações com estes nutrientes para o cafeeiro (BASTOS, 1999).

#### **4.5 Recomendação para lodo de esgoto e mineralização do nitrogênio**

As doses de LE aplicadas ao solo são balizadas por uma série de parâmetros, que podem restringir a dose, ou até mesmo o uso de determinado LE. Dentre esses parâmetros citam-se: concentração de metais pesados, patógenos, compostos orgânicos tóxicos e nutrientes. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB através da norma P 4230 (CETESB, 1999), adaptada da legislação americana, USEPA (1993), estabelece os níveis máximos permissíveis de cada um desses parâmetros. Na Tabela 1, estão relacionados os valores de dois importantes parâmetros quanto a metais pesados, e que devem ser obedecidos por qualquer profissional que venha a trabalhar na “Gestão do lodo de esgoto”.

Tabela 1. Concentrações limites no solo de metais pesados contidos no lodo e taxa de aplicação anual máxima (CETESB, 1999).

<b>Metal</b>	<b>Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>Taxa de aplicação anual máxima (kg ha<sup>-1</sup> por período de 365 dias)</b>
Arsênio	75	2,0
Cádmio	85	1,9
Cobre	4300	75
Chumbo	840	15
Mercúrio	57	0,85
Molibdênio	75	-
Níquel	420	21
Selênio	100	5
Zinco	7500	140

Desse modo, quando não há restrições, a quantidade de N – disponível no lodo de esgoto tem sido utilizada como principal critério de recomendação no seu uso na agricultura. No entanto, qualquer fator que venha a ser restritivo deve obrigatoriamente diminuir a dose de lodo até atingir valores adequados e não restritivos (TSUTIYA et al., 2002).

Nesse sentido, a mineralização de N orgânico é uma consideração importante na determinação da dose apropriada de aplicação de lodo às culturas (PARKER & SOMMERS, 1983). Portanto, o entendimento da taxa de transformação de N e seu destino em solos fertilizados com lodo, são importantes para garantir que a quantidade aplicada de lodo proporcione N – disponível suficiente para o crescimento de plantas, porém não libere quantidades de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> que excedam a necessidade da cultura (TERRY et al., 1981).

De acordo com Tisdale et al. (1984), a mineralização de compostos orgânicos que contêm nitrogênio ocorre essencialmente a partir de três reações: aminização,

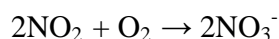
amonificação e nitrificação. As duas primeiras são efetuadas por microrganismos heterotróficos e a terceira por bactérias autotróficas do solo. Essas três importantes transformações do nitrogênio no solo, resumidamente, ocorrem assim:

Aminização:  $\text{N-orgânico} \rightarrow \text{R-NH}_2 + \text{CO}_2 + \text{OC (outros compostos)} + \text{E (energia)}$

Amonificação:  $\text{R-NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{R-OH}^- + \text{E}$



Nitrificação:  $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$



Fresquez (1990) observou incrementos nos teores de N no solo e aumento da produtividade de pastagem degradada de uma região semi-árida com a adição de LE. Segundo Benckiser & Simarmata (1994) é necessário o conhecimento sobre os teores de nutrientes disponíveis no LE para uma adubação adequada. Concentrações totais de N, P, K, Ca e Mg da ordem de 0-30; 0-4,5; 0-2; 0-17,7 e 0-3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, na matéria seca do LE são consideradas baixas, enquanto que concentrações de 70-100; 6,8-17,5; 36,4-71,5 e 6,1-9 g kg<sup>-1</sup> desses elementos são classificadas como altas.

#### **4.6 Resposta de culturas à fertilização com lodo de esgoto**

O uso exclusivo de LE como fertilizante pode causar deficiência nutricional para maioria das culturas, em virtude do desequilíbrio dos teores de nutrientes presentes no lodo. De modo geral, a complementação com potássio nas culturas adubadas com lodo, faz-se necessária, pois esse nutriente é perdido durante o processo de tratamento de esgotos, devido à sua elevada solubilidade (BERTON, 2003).

A adição de LE proporcionou aumento significativo no rendimento da matéria seca e na absorção de N, P e K, contudo Ros et al. (1993) concluíram que deve ser feita a suplementação mineral.

Vega et al. (2003) avaliando a fitomassa radicular de plantas de pupunha que receberam aplicação de LE verificaram que nas doses equivalentes a 0 e 100 kg de nitrogênio disponível por hectare, as raízes se limitaram à camada de 0 a 20 cm de profundidade, enquanto que nas doses 200 e 400 kg de nitrogênio disponível por hectare, foram encontradas raízes nas camadas de 20 a 40 cm de profundidade.

Estudos sobre os efeitos da aplicação do LE especificamente na cultura do cafeeiro são escassos na literatura. Ferreira et al. (2001) avaliaram o efeito do lodo urbano tratado com cal virgem associado com outros materiais orgânicos no crescimento de mudas de cafeeiro, e constataram que a dose para neutralizar metade da acidez potencial foi superior no desenvolvimento das plantas, no que diz respeito a parâmetros como área foliar, massa seca da parte aérea e volume de raízes, sendo esse efeito potencializado com a associação de palha de café ao lodo. Avaliando o efeito do lodo na nutrição mineral de cafeeiros em produção, Martins (2003), verificou que os teores de nutrientes nas folhas e frutos e de metais pesados nos frutos, estiveram dentro de níveis normalmente encontrados para a cultura, independente da dose de lodo utilizada, confirmando a possibilidade desse produto para a cafeicultura.

#### **4.7 Comparação entre o lodo de esgoto doméstico e o lodo de esgoto industrial**

No LE com predominância de esgoto doméstico sobre o industrial, os níveis de Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, Cr, Al, Mo, Mn e Hg, entre outros menos frequentes, permanecem dentro das faixas aceitáveis para o uso agrônômico. A concentração desses elementos é 28 mg kg<sup>-1</sup>; 784 mg kg<sup>-1</sup>; 239 mg kg<sup>-1</sup>; 1569 mg kg<sup>-1</sup>; 153 mg kg<sup>-1</sup>; 784 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Sendo que a concentração de Al, Mo, Mn e Hg não foram mencionadas (OLIVEIRA & MATTIAZZO, 2001).

Quando a situação é inversa, predominância do esgoto industrial, a concentração de metais pesados inviabiliza seu uso agrícola, pois a disponibilidade dos metais

pesados e sua conseqüente entrada na cadeia alimentar do homem é a principal preocupação em sua utilização (BETTIOL et al., 1983).

Já para N, P, K, Mg, Zn, Cu e Mn, em ambos os casos, o LE fornece às plantas quantidades satisfatórias. Segundo Oliveira & Mattiazzo (2001), a concentração desses nutrientes no LE é, respectivamente, 26 g kg<sup>-1</sup>; 11,2 g kg<sup>-1</sup>; 170,3 g kg<sup>-1</sup>; 10,6 g kg<sup>-1</sup>; 1569 mg kg<sup>-1</sup>; 789 mg kg<sup>-1</sup>; sendo que a concentração de magnésio não foi fornecida.

#### **4.8 Elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas**

Entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, o nitrogênio ocupa uma posição de destaque. Apesar de apresentar-se na camada arável do solo, em alguns casos, em quantidades relativamente elevadas, sua baixa disponibilidade, somada à grande necessidade pelos vegetais, faz com que seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade na maioria das culturas. Esta baixa disponibilidade é decorrente de que 95% ou mais do nitrogênio do solo encontra-se complexado na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada durante o ciclo da cultura (CAMARGO et al., 1999).

A mineralização é resultante da degradação das formas orgânicas do nitrogênio exercido pela atividade microbiana, disponibilizando-o às plantas. As transformações que determinarão as relações de equilíbrio entre N-orgânico e mineral, estão em função do comportamento do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como íons do solo e das necessidades de plantas e microorganismos (CERETTA & FRIES, 1998).

Fahl et al. (2001) estudando a relação N/K no crescimento e produção de cafeeiro Obatã IAC 1669-20, demonstraram que as doses crescentes de nitrogênio aumentaram linearmente o número de frutos e o comprimento dos internódios dos ramos plagiotrópicos, além do diâmetro da copa onde foi observado o valor máximo na dose 303 kg N ha<sup>-1</sup>. Para o número de flores houve interação entre a aplicação de doses de N e K, verificando-se que com o aumento do nível de potássio ocorreu aumento linear na dose de 25 kg N ha<sup>-1</sup> e decréscimo na dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Na dose de 25 kg N ha<sup>-1</sup>, o comprimento do internódio decresceu com o aumento da dose de potássio, ocorrendo o inverso quando se aplicou 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

#### **4.9 A contaminação do solo com metais pesados**

Os metais pesados são conjuntos de elementos químicos e suas formas iônicas possuem densidade elevada (maior que  $6,0 \text{ kg dm}^{-3}$ ) e pertencem aos grupos de transição e não-transição da tabela periódica de elementos químicos (OLIVEIRA & MATTIAZZO, 2001).

Os riscos de contaminação do sistema solo-planta fizeram com que vários países limitassem o acúmulo de metais pesados no solo, controlando a quantidade e a frequência de aplicação de lodo de esgoto. No Estado de São Paulo, a CETESB regulamentou a aplicação de metais pesados presentes no LE por meio da norma técnica P 4.230 (CETESB, 1999), a qual permite um máximo de aplicação anual e um máximo acumulado no solo. Os valores limites adotados por essa norma foram retirados da regulamentação proposta pelo órgão de controle ambiental norte americano (USEPA, 1993) denominada CRF 530, porque esta norma conta com metodologia de análise bem desenvolvida e com mais de trinta anos de pesquisa em aplicação de LE em solo agrícola (TSUTIYA et al, 2002).

Sendo assim, os estudos devem incluir obrigatoriamente, a preocupação com o potencial de contaminação da água subterrânea e toxicidade dos poluentes à cadeia alimentar (MATTOS et al., 1996).

O solo possui uma grande capacidade de retenção de metais pesados, porém se essa capacidade for ultrapassada, os metais em disponibilidade no meio, tanto podem penetrar na cadeia alimentar dos organismos vivos, como ser lixiviados, colocando em risco a qualidade dos sistemas subjacentes de água subterrânea. Dessa forma, o conhecimento das características de retenção dos metais pesados na matriz do solo torna-se necessário e serve como um indicativo da mobilidade potencial dos poluentes no mesmo (MATTOS et al., 1996).

De acordo com Hue (1995) o movimento de metais pesados, como resultado de aplicações de lodo de esgoto, é limitado e somente observado em solos arenosos e ácidos, com baixo teor de matéria orgânica e que receberam elevadas aplicações do resíduo, associadas à elevada precipitação ou irrigação.

Os metais podem ser retidos de diferentes formas. Os solos argilominerais possuem sítios negativos de adsorção onde os metais são adsorvidos por forças eletrostáticas. Além disso, os metais podem ser complexados com compostos orgânicos, adsorvidos ou oclusos em carbonatos ou óxidos de Fe, Al e Mn (MATTOS et al., 1996).

O pH possui também reconhecidamente, forte adsorção de metais pesados, já que, em conjunção de condições óxido redutoras do meio, determina o equilíbrio entre as formas mais móveis, de menores valências, e menos móveis, de maiores valências. Em geral, o pH deve exceder 6,5, a fim de minimizar a mobilidade e toxicidade de tais elementos (MATTOS et al., 1996).

Devido à importância que a matéria orgânica exerce sobre a CTC dos solos, a formação de complexos orgânicos com metais, mediante a quelação é também mecanismo de ligação em solos. Aos óxidos de Fe e Al (designação genérica de óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos) importantes constituintes de solos de região de clima tropical, têm sido atribuídos fortes interações com os metais, notadamente na forma de adsorção específica (MATTOS et al., 1996).

No entanto, mesmo com diversos trabalhos demonstrando que a aplicação de LE promove o aumento da concentração de metais no solo, o comportamento desses elementos, ainda gera muitas dúvidas no que diz respeito à absorção desses metais pesados pelas plantas e a possibilidade desses elementos alcançarem concentrações fitotóxicas nos solos ou nas plantas (SIMONETE & KIEHL, 2002).

A contaminação causada por metais pesados nos solos tratados com LE tem sido avaliada pela concentração total desses metais. No entanto, o fato do metal pesado estar presente no solo não significa que esteja numa forma prontamente assimilável pelas plantas, podendo permanecer por longos períodos sem ser absorvido em quantidades tóxicas. Estudos têm demonstrado não haver correlação entre o teor total de metais pesados no solo e sua fitotoxicidade. Portanto, para realmente se conhecer a contaminação, em termos dos efeitos sobre as plantas e à cadeia alimentar, é necessário determinar as concentrações fitodisponíveis desses metais (SIMONETE & KIEHL, 2002).

#### 4.9.1 Retenção de metais na superfície orgânica

A disposição adequada de lodos de boa qualidade em solos agrícolas, a princípio, não representa ameaça ao meio ambiente graças à capacidade de adsorção da matéria orgânica no lodo, que funciona como um dreno aos metais pesados, reduzindo seu potencial de contaminar o meio ambiente (TSUTIYA, et al., 2002).

A matéria orgânica (MO) é um componente do solo muito eficaz na retenção de metais. Sua capacidade de adsorção pode se manifestar por meio de interações metais – MO, tanto em solos com considerável porção litogênica de metais, como em solos originados de rochas serpentinas e solos que sofreram intervenção humana por aplicações de resíduos industriais ou urbanos. A adsorção de metais da fase sólida pela matéria orgânica é um mecanismo muito importante do ponto de vista ambiental, pois diminui a fitodisponibilidade e a mobilidade dos metais no perfil do solo (TSUTIYA et al., 2002).

O lodo difere da maioria de outros potenciais poluidores de metais pesados, no que diz respeito à sua importante fonte de materiais adsorventes (matéria orgânica, Fe e Mn). Desse modo, o comportamento dos metais pesados em solos que receberam adição de metais via lodo é totalmente diferente que via sais de metais (ALLOWAY & JACKSON, 1991).

O termo “carbono orgânico dissolvido (COD)” compreende uma variedade de moléculas orgânicas de baixo peso molecular, dissolvidas na solução do solo. Esses compostos bioquímicos formam compostos solúveis em água com os metais, aumentando a mobilidade deles (MCLEAN & BLADSOE, 1992). Entretanto, o COD também engloba moléculas de alto peso molecular, suspensas como colóides em meio aquoso, resultantes da atividade bioquímica de organismos vivos, incluindo exsudatos das plantas, e dos produtos da decomposição microbiana da matéria orgânica. Essas moléculas de elevado peso molecular constituem as substâncias húmicas (humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos) que também apresentam alta complexidade química e estrutural, por isso sua fórmula molecular ainda não é bem definida. Esses compostos, em razão da sua grande reatividade, são as frações envolvidas



na maioria das reações químicas do solo, como a troca iônica e a complexação iônica. O papel da matéria orgânica na retenção de íons é significativo mesmo em solos onde o seu conteúdo é baixo. Tem sido estimado que mais de 80 % da CTC dos solos é devido à matéria orgânica (RAIJ & QUAGGIO, 1983), pois seu ponto de carga zero é baixo, em torno de 3, e nessas condições a matéria orgânica manifesta carga negativa em sua superfície a partir de pH acima desse valor (SPARKS, 1995).

Os principais grupos funcionais das substâncias húmicas são os grupamentos carboxílicos e fenólicos, pois podem apresentar desprotonação a pH comuns na maioria dos solos. Tem sido estimado que mais de 55 % da CTC da matéria orgânica é derivada dos grupos carboxílicos, enquanto em torno de 30 % da CTC da matéria orgânica em pH até 7,0 é devida aos grupos quinonas, fenóis e fenóis (SPARKS, 1995).

A ação do lodo em prevenir a absorção excessiva de metais pelas culturas por um determinado tempo, tem sido atribuída largamente à matéria orgânica adicionada com o lodo. Desse modo, a disposição agrícola adequada de resíduos orgânicos que contenham baixos níveis de metais pesados torna-se interessante, pois o comportamento desses metais é totalmente diferente dos resíduos com a mesma quantidade de metais, porém de origem inorgânica (MCBRIDE, 1995).

Alguns estudos têm mostrado que metais aplicados em solos agrícolas sob a forma de sais metálicos como sais de sulfato, cloreto ou nitrato, mostram-se mais extraíveis por DTPA que metais aplicados em quantidades equivalentes sob a forma de lodo de esgoto. Isso pode estar relacionado com as diferenças nos constituintes adicionados com os metais, pois enquanto os sais metálicos adicionam apenas o ânion ligado ao metal, o lodo adiciona matéria orgânica, óxidos de Fe e Mn (KORCAK & FANNING, 1985).

#### **4.9.2 Solubilização de metais pela formação de complexos**

Como citado anteriormente, o COD também envolve alguns compostos bioquímicos que podem promover um efeito inverso ao da retenção pelas substâncias húmicas. De acordo com Alloway & Jackson (1991), além do efeito da matéria orgânica em seu estado sólido, agindo como um dreno para metais em solos que receberam LE, algumas moléculas orgânicas solúveis de baixo peso molecular produzidas durante a decomposição microbiana do lodo no solo formam complexos solúveis com os metais pesados. Segundo McLean & Bladsoe (1992) os compostos bioquímicos ao formarem complexos solúveis em água com os metais, podem aumentar a sua mobilidade no perfil de solo. Os exsudatos liberados pelas plantas e microrganismos são de extrema importância na acidez e no ciclo dos elementos traços no solo. Os ácidos orgânicos fazem parte desses exsudatos e atualmente estão bem caracterizados. Esses ácidos têm em sua estrutura geral a unidade molecular orgânica COOH, que é o grupamento carboxila. O grupo carboxila pode dissociar seu próton facilmente nas faixas de pH comuns nos solos, e atacar os minerais dos solos provocando sua decomposição. Desse modo, o ânion carboxilato (COO<sup>-</sup>) que permanece pode formar complexos solúveis com os metais catiônicos liberados pelo intemperismo dos minerais. Esses ácidos têm um período de vida bastante curto (às vezes horas), porém, são produzidos continuamente durante o ciclo de vida dos microrganismos (SPOSITO, 1989).

#### **4.9.3 Fitodisponibilidade, acúmulo e movimentação de metais pesados**

O emprego de determinados lodos pode ser limitado pela presença de metais pesados, como Cu, Ni, Fe, Zn, Mn, Co, Hg, Cd, Pb e Cr, em quantidades consideráveis e sua aplicação pode levar à contaminação do solo e das plantas e suas partes com esses metais. Oliveira (1995), em Areia Quartzosa e Nitossolo, verificaram que as adições de 0; 13,5; 29,7 e 40,5 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (com base no material seco) aumentaram as

concentrações de Cd, Cu, Cr, Ni e Zn nos solos, sendo que o aumento da fitodisponibilidade desses metais para a cultura do milho foi obtido com a maior dose. Em solo tratado com 0,50 e 75 t ha<sup>-1</sup> de LE. Logan et al. (1997), em solo franco argiloso que recebeu LE em quantidades que variam de 0 a 300 t ha<sup>-1</sup>, observaram incrementos nas concentrações de Cd, Cu e Zn nas folhas de milho.

Vários métodos têm sido usados para determinar as quantidades disponíveis de metais pesados, para que se possa avaliar a concentração e o potencial tóxico dos elementos. Mattiazzo-Prezotto et al. (1999) concluíram após revisão sobre a eficiência de diferentes extratores, que ainda não existe extrator que demonstre uma boa correlação com as quantidades fitodisponíveis de todos os metais pesados encontrados no lodo de esgoto e que há necessidade de padronização dos métodos de análise a fim de maximizarem os resultados obtidos em diferentes condições de solo.

O acúmulo de metais pesados, por sucessivas aplicações de LE, pode se tornar motivo de preocupação em função da possibilidade de movimentação e conseqüente contaminação de camadas mais profundas do solo e águas subterrâneas por esses metais (TSUTIYA et al., 2002).

Segundo Merckx et al. (1986), os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como o acético, cítrico, oxálico, fumárico e succínico, geralmente presente nos exsudados de raízes, são os mais eficientes na solubilização dos metais presentes no solo, portanto, a identificação da composição química dos exsudatos, assim como a verificação da habilidade das diferentes espécies vegetais em solubilizar esses metais, é de fundamental importância para que se possa estudar a possibilidade de formular sinteticamente esses exsudatos, disponibilizando-os para análises laboratoriais de rotina.

Segundo Amaral et al. (1998) os estudos sobre mobilidade de metais pesados têm demonstrado que os metais Pb, Cr e Cu apresentam baixa mobilidade, acumulando-se na superfície dos solos contaminados, enquanto Zn, Mn, Ni e principalmente Cd, são relativamente mais móveis, apresentando um maior risco de contaminação da água subterrânea.

De acordo Bertoncini & Mattiazzo (1999) atributos do solo, tais como pH, teor de matéria orgânica, textura e composição das argilas, potencial redox, competição entre os metais pelos sítios de adsorção, reações de complexação, temperatura e atividade microbiana, são responsáveis pelo controle dos processos de degradação do conteúdo orgânico do resíduo e conseqüente solubilidade e mobilidade dos metais. Verificaram que a elevação do pH, do teor de Fe e da MO, contribuíram para uma maior retenção dos metais: Cd, Cu, Cr e Ni, ocasionando, desse modo, uma menor mobilidade dos mesmos.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em túnel plástico, do Departamento de Recursos Naturais - Área de Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP/Campus de Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil.

O solo utilizado pertence à descrição de perfis da Unidade Patrulha, conforme Carvalho et al. (1983), correspondendo a um Latossolo Vermelho Escuro Álico, textura média, atualmente denominado LATOSSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 1999), apresentando suas características químicas na Tabela 2, de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001), seguindo a rotina do Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos – Área de Ciência do Solo/FCA-UNESP - Botucatu-SP.

Tabela 2. Características químicas de amostras de solo do experimento em túnel plástico, antes da aplicação dos tratamentos.

<b>pH</b>	<b>MO</b>	<b>P<sub>resina</sub></b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>H+Al</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>+2</sup></b>	<b>Mg<sup>+2</sup></b>	<b>SB</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
4,0	22	1	24	7	0,3	2	1	3	75	4
<b>B</b>		<b>Cu</b>	<b>Fe</b>		<b>Mn</b>		<b>Zn</b>			
-----			-----mg dm <sup>-3</sup> -----							
0,10		0,8	84		1,6		0,1			

O experimento foi conduzido no período de outubro de 2003 a janeiro de 2005. Foram utilizadas mudas de cafeeiro, cultivar Tupi, linhagem IAC 1669-33, derivado do cruzamento de Vila Sarchi com Híbrido de Timor, que resulta em uma planta de porte baixo, porém muito produtiva, com maturação precoce. Além da sua ótima adaptabilidade às regiões mais altas, como Botucatu, os fatores decisivos para a escolha do material, recaem sobre sua imunidade às raças do agente causador da doença conhecida como Ferrugem do Cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) prevalentes no Brasil e por constituir um grande avanço técnico para a utilização do sistema de plantio adensado. As mudas foram transplantadas em novembro, quando apresentavam 6 pares de folhas completamente estendidas, para vasos de PVC com capacidade para 20L, sendo que cada vaso recebeu uma muda. A Tabela 3 apresenta a composição química (macro e micronutrientes) das folhas de café, coletadas antes da aplicação dos tratamentos, conforme metodologia de análise proposta por Malavolta et al. (1997), seguindo a rotina do Laboratório de Fertilidade de Solo do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo/FCA-UNESP - Botucatu-SP.

Tabela 3. Análise química de folhas de cafeeiro antes da aplicação dos tratamentos.

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
-----g kg <sup>-1</sup> -----					
33	0,7	9	16	5	2
<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	
-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
121	2	407	104	7	

O solo foi devidamente peneirado para se obter uma maior uniformidade de granulometria utilizando-se a peneira de 4 mm e acondicionado nos vasos. Foi realizada uma desinfecção do solo três dias antes da aplicação dos tratamentos, com aplicação de Brometila (nematicida fumigante do Grupo químico brometo de metila). Esse cuidado foi tomado após a constatação em análise de algumas raças de nematóides em quantidades consideráveis que poderiam prejudicar o desenvolvimento das raízes do cafeeiro.

Foram retiradas amostras dos materiais orgânicos para determinação do  $N_{total}$ , matéria orgânica (MO), teor de umidade (U%), pH e relação C:N, segundo metodologia descrita por Lanarv (1988).

Tabela 4. Análise química dos resíduos orgânicos, antes da aplicação dos tratamentos.

<b>Resíduo</b>	<b><math>N_{total}</math></b>	<b>MO</b>	<b>U</b>	<b>pH</b>	<b>C:N</b>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
<b>Esterco de Curral</b>	10,5	320,0	550,0	5,3	17:1
<b>Lodo de Esgoto</b>	50,0	366,7	660,0	7,5	7:1

Em função dos resultados da análise química do solo, a saturação por bases foi elevada a 50% (RAIJ et al., 1997) através da aplicação de 50g/vaso de calcário dolomítico (CaO e MgO na relação 4:1 de Ca/Mg e PRNT de 90%), referente a uma aplicação de 5 ton ha<sup>-1</sup>, com antecedência de 30 dias da instalação do experimento, simulando as condições de campo. Cada vaso recebeu água uma vez por semana, para que o calcário pudesse reagir, até o momento do transplante das mudas.

Em novembro de 2003 foi realizado o transplante das mudas de café para os vasos.

### 5.1.1 Cálculo para aplicação de calcário, fertilizantes minerais e fertilizantes orgânicos

Espaçamento – 0,5m x 2,0m = 1 planta/m<sup>2</sup>;

Profundidade de adubação de 0,2m – 1 planta/0,2m<sup>3</sup> ou 200L de solo (em condições de campo);

Adaptando as condições de campo para os 20L de cada vaso, temos a seguinte distribuição de calcário e fertilizantes:

Necessidade de 5 ton. ha<sup>-1</sup> de calcário em 10.000m<sup>2</sup> x 0,2m = 2.000m<sup>3</sup> ou 2.000.000L

Em 20L - 0,05kg ou 50g de calcário por vaso.

P – 3g  $P_2O_5$ /vaso = 16,66g Superfosfato Simples (18% de  $P_2O_5$ ), equivalente a 150 kg  $ha^{-1}$  em condições de campo;

K – 1,5g  $K_2O$ /vaso = 2,5g Cloreto de Potássio (60% de  $K_2O$ ), equivalente a 75 kg  $ha^{-1}$  em condições de campo;

B – 0,05g B/vaso = 0,31g Ácido Bórico (16% de B), equivalente a 2,5 kg  $ha^{-1}$  em condições de campo;

Zn – 0,1g Zn/vaso = 0,5g Sulfato de Zinco (20% de Zn), equivalente a 5 kg  $ha^{-1}$  em condições de campo;

Os tratamentos  $T_2$  e  $T_3$  receberam apenas os resíduos orgânicos, no plantio e em cobertura. As dosagens seguiram as recomendações de Raij et al., (1997), que indica a necessidade de 20L de material orgânico por metro de sulco.

Lodo de esgoto – 1L/vaso

Esterco de curral – 1L/vaso

Portanto, as adubações de plantio seguiram as recomendações de Raij et al., (1997). Em cada vaso foram adicionados 16,66g de superfosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ); 2,5g de cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ); 0,31g de ácido bórico (16% de B) e 0,5g de sulfato de zinco (20% de Zn), simulando a adubação normal de plantio no campo que é de 60g  $m^{-1}$  de  $P_2O_5$ , 30g  $m^{-1}$  de  $K_2O$ , 1g  $m^{-1}$  de B e 2g  $m^{-1}$  de Zn, de acordo com os teores de elementos apresentados na análise. Os tratamentos ( $T_2$  e  $T_3$ ) exclusivamente orgânicos, a partir de agora denominados 1EC+EC e 1LE+LE, respectivamente, não receberam essa adubação mineral. Nesses tratamentos foram adicionados 1L de EC e LE respectivamente, segundo Raij et al. (1997). Todo processo foi realizado no dia do transplante das mudas de café para os vasos. Como adubação em cobertura foi adotada a recomendação presente em Raij et al. (1997) para todos os tratamentos.

Todos os fertilizantes foram muito bem misturados com a terra, para evitar uma possível morte do sistema radicular devido a eventuais problemas de salinidade com o cloreto de potássio e de toxicidade com o boro (RAIJ et al., 1997).

O delineamento experimental seguiu o esquema inteiramente casualizado, com 9 tratamentos e 8 plantas por tratamento, totalizando 72 plantas. Com o intuito de adaptar a realidade do campo às condições de cultivo em vaso, as quantidades de adubo aplicadas por



metro de linha foram convertidas para os 20 litros de solo contidos em cada vaso, seguindo a recomendação do Boletim 100, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Tratamentos utilizados na implantação do experimento em túnel plástico.

<b>Tratamentos</b>	<b>Adubações</b>
T <sub>1</sub>	CONVENCIONAL (CONV.)
T <sub>2</sub>	1 L EC + EC
T <sub>3</sub>	1 L LE + LE
T <sub>4</sub>	CONV. + 0,5 L EC
T <sub>5</sub>	CONV. + 0,5 L LE
T <sub>6</sub>	CONV. + 1 L EC
T <sub>7</sub>	CONV. + 1 L LE
T <sub>8</sub>	CONV. + 1,5 L EC
T <sub>9</sub>	CONV. + 1,5 L LE

Tratamento 1 – Testemunha mineral. Foi utilizada adubação mineral no plantio e nas adubações em cobertura, fornecendo 4g de nitrogênio (N)/vaso/mês a partir do pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

Tratamento 2 – Testemunha orgânica. Foi utilizada adubação com 1L de esterco de curral curtido (EC) por vaso no plantio; 0,38L/vaso/mês nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas. Tratamento 3 – Testemunha orgânica. Foi utilizada adubação com 1L de lodo de esgoto (LE) curtido no plantio; 0,08L/vaso/mês nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas. Tratamento 4 – Aplicação da adubação mineral de plantio mais 0,5L de EC por vaso, quantidade igual a 10L/metro de linha, referente à metade da dose recomendada para as condições de campo; 19g/vaso/mês de sulfato de amônio nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

Tratamento 5 – Aplicação da adubação mineral de plantio mais 0,5L de LE por vaso, quantidade igual a 10 L/metro de linha, referente a metade da dose recomendada para as condições de campo; 19g/vaso/mês de sulfato de amônio, nas adubações em cobertura,

correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

Tratamento 6 – Aplicação da adubação mineral de plantio mais 1L de EC por vaso, quantidade igual a 20 L/metro de linha, referente à dose recomendada para as condições de campo; 19g/vaso/mês de sulfato de amônio, nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

Tratamento 7 – Aplicação da adubação mineral de plantio mais 1L de LE curtido por vaso, quantidade igual a 20 L/metro de linha, referente à dose recomendada para as condições de campo; 19g/vaso/mês de sulfato de amônio, nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

Tratamento 8 – Aplicação da adubação mineral de plantio mais 1,5L de EC por vaso, quantidade igual a 30 L/metro de linha, referente a uma dose e meia recomendadas para as condições de campo; 19g/vaso/mês de sulfato de amônio, nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

Tratamento 9 – Aplicação da adubação mineral de plantio mais 1,5L de LE curtido por vaso, quantidade igual a 30 L/metro de linha, referente a uma dose e meia, recomendadas para as condições de campo; 19g/vaso/mês de sulfato de amônio, nas adubações em cobertura, correspondente ao fornecimento de 4g de N após o pegamento das mudas, segundo Raij et al. (1997). Os micronutrientes foram fornecidos via foliar, seguindo as dosagens recomendadas pelo Boletim 100;

## **5.2 Análise estatística**

O estudo estatístico das variáveis determinadas foi processado pelo Programa SISVAR 4,6 (2003), com nível de significância a 5%, com o objetivo de realizar:

a) Análise de variância para cada elemento citado, considerando os efeitos estudados ao longo dos 12 meses de desenvolvimento das plantas;

b) Teste de comparações múltiplas (Tukey) para cada efeito significativo da análise de variância (em que houve efeito de interações);

c) Análise de Regressão para determinação do modelo matemático que possa expressar a resposta dos tratamentos nas plantas.

## **5.3 Características avaliadas**

### **5.3.1 Análise da química do solo**

Foi coletada uma amostra de solo na camada de 0-20 cm de profundidade para determinação das características químicas antes da implantação dos tratamentos. Aos 12 meses foram retiradas amostras de solo das parcelas, onde quatro amostras simples por vaso foram retiradas, homogeneizadas, secas ao ar e peneiradas para retirada de uma amostragem composta. Estas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo/FCA-UNESP - Botucatu-SP, para a determinação do pH, MO, P, H+Al, Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Saturação por bases (V%), segundo metodologia descrita por Raij et al., (2001). As análises químicas para determinação de B foram realizadas em extrato de água quente, enquanto para os nutrientes Cu, Mn e Zn em extrato de DTPA a pH 7,3. Para os elementos As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se a determinação foi realizada por espectrometria de emissão atômica por plasma ICP-AES, segundo Raij et al., (2001), seguindo também as normas da CETESB (1999), no Laboratório de Relação Solo Planta do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, desta instituição.

### **5.3.2 Análise da química do tecido vegetal**

As amostras de folhas foram coletadas de ramos plagiotrópicos, na altura mediana da copa. Cada parcela foi dividida em quatro quadrantes e foi retirada uma folha do terceiro par plenamente expandido a partir da ponta do ramo, totalizando quatro sub-amostras por parcela. A coleta foi realizada aos doze meses após a instalação do ensaio.

Após a coleta, as folhas foram lavadas com detergente e água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar e temperatura variando entre 65 a 70° C, até peso constante. Após a secagem, as folhas foram moídas e encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo/FCA-UNESP - Botucatu-SP, para as determinações analíticas dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se, conforme resolução da CETESB (1999), determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES segundo Raij et al., (2001). Como parâmetro para esta padronização será utilizado a informação descrita pela CETESB (1999), a qual cita que quando existe a pretensão de aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas, deve-se ter atenção ao conteúdo dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se.

### **5.3.3 Determinação dos parâmetros biométricos**

A cada 60 dias, a partir da implantação dos tratamentos, foram realizadas as avaliações de parâmetros como altura de plantas e diâmetro de copa, segundo SANTOS (2003).

A altura das plantas foi obtida, com régua graduada, a partir do colo até o ápice das plantas, segundo SANTOS (2003). A primeira medida foi realizada no dia do transplante e repetidas a cada 2 meses, até as mudas completarem 1 ano de idade.

A avaliação de diâmetro de copa das plantas foi obtida, com um paquímetro de madeira graduado, retirando-se as medidas nas orientações NORTE-SUL, LESTE-OESTE, de acordo com a disposição das plantas e, multiplicando-se para se obter os valores em cm<sup>2</sup>. A primeira medida foi realizada no dia do transplante e as posteriores repetidas a cada 2 meses, até as mudas completarem 1 ano de idade.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Química do solo

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da composição química do solo, após 12 meses da aplicação dos tratamentos.

Tabela 6. Resultados de pH, MO, SB, CTC e V%, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g dm <sup>-3</sup>	SB ----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----	CTC	V%
T <sub>1</sub> - CONV.	3,98 c	15,25 d	10,03 f	98,38 c	9,38 d
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	5,01 b	28,25 ab	28,92 b	118,88 a	73,50 a
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	5,53 a	33,25 a	33,04 a	117,88 ab	59,75 b
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	3,93 c	20,00 c	11,52 f	99,13 c	11,38 d
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	4,09 c	19,25 cd	20,14 d	113,63 abc	24,50 c
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	4,27 c	19,38 cd	13,56 e	101,50 bc	28,13 c
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	4,25 c	20,38 c	22,87 c	98,75 c	30,75 c
T <sub>8</sub> - 1½EC+ PK	4,93 b	28,85 ab	21,42 cd	106,12 abc	29,38 c
T <sub>9</sub> - 1½LE + PK	4,97 b	29,00 ab	27,92 b	105,13 abc	28,13 c
Média	4,48	21,61	21,04	106,59	32,58
Dms	0,26	4,31	1,98	17,26	10,17
C.V. (%)	3,89	12,44	5,83	10,08	19,44

Observou-se um acréscimo no pH com as crescentes doses aplicadas, tanto de esterco quanto de lodo, principalmente nos tratamentos que foram utilizadas essas fontes no plantio e em cobertura. Com esse maior volume de material orgânico, os valores de pH desses

tratamentos foram os que mais se elevaram ao longo do período analisado, pois um dos efeitos observados pela adição de matéria orgânica nos solos é diminuição da toxicidade do  $Al^{3+}$ . A elevação do pH do solo, por meio da utilização do lodo de esgoto, foi constatado em vários trabalhos realizados por Berton et al. (1989), Collier et al. (1992), Sousa et al. (1993), Andrade & Mattiazzo (1999), Carmo & Lambais (2000) e Corrêa (2001).

Oliveira et al. (2002) em experimento com cana-de-açúcar, verificou aumento do pH nos dois anos estudados, em função das doses de lodo aplicadas ao solo. As adubações com fertilizantes químicos minerais realizadas no tratamento CONV., ao contrário, causaram acidificação no solo e, conseqüentemente aumentaram a solubilidade do  $Al^{3+}$ . Este resultado foi também obtido por Pavan (1993), e pode ser explicado pela liberação dos íons  $H^+$  na solução do solo, durante a nitrificação do fertilizante nitrogenado, liberação essa que é mais rápida para os fertilizantes minerais.

Quando se adiciona material orgânico com alta relação C/N ao solo, até 30% se decompõem no primeiro ano (CETESB, 1999). No segundo ano agrícola outra parte se decompõe chegando ao produto final, o húmus. Apenas no terceiro ano é que praticamente toda a matéria orgânica (MO) bruta estará transformada (MALAVOLTA et al., 1981). De acordo com os autores, o que se deve fazer é adicionar freqüentemente pequenas quantidades de MO bruta para manter a atividade dos microorganismos responsáveis pela sua decomposição.

Neste experimento, o teor de MO foi aumentando com as diferentes doses de EC e LE. O tratamento 1LE + LE teve um maior acréscimo de MO aos demais tratamentos, pois recebeu LE no plantio e em cobertura. Provavelmente, a diferença entre o EC e o LE esteja no efeito diferencial entre os dois estágios de decomposição, ou seja, a maior presença de compostos orgânicos facilmente degradáveis no LE e na menor relação C/N do mesmo, os quais proporcionam melhores condições para a atividade microbiana, que aceleram os processos de mineralização da MO total do solo. Esses resultados discordam de Vaz & Gonçalves, (2002) que chegaram a observar redução dos teores de MO, com a elevação das doses de lodo. Ao contrário, Oliveira (1998) mostrou que o lodo de esgoto é constituído de 57% de MO facilmente degradável e segundo Carvalho & Barral (1981) o lodo apresenta-se degradado em 63 dias de incubação tanto em areia como em Latossolo. Foram constatados altos teores de MO a partir do LE pelos autores Simonete et al. (1999), Silva et al. (1998),

Melo et al. (1993), Bertoncini & Mattiazzo (1999) e Fiest et al. (1999).

Foi observado um incremento significativo na SB, CTC e V%, apresentando os maiores valores para os tratamentos 2 e 3 em relação aos demais. Isso deve ter ocorrido em função do maior fornecimento de material orgânico, melhorando a estrutura do solo e liberando, assim, maior número de cátions trocáveis. Esses dados concordam com Berton et al. (1997), que também notou a elevação desses teores em função da aplicação de resíduos como o LE. Silva et al. (2001), também encontraram valores crescentes de SB, V% e CTC com doses crescentes de LE.

O aumento da CTC, com as doses crescentes de LE e EC, deve-se ao fato da elevação do pH, levando a diminuição drástica do H+Al, bem como ao aumento do teor de Ca, Mg e K nesses tratamentos. Aumentos na CTC do solo através da aplicação de LE foram constatados também por Melo et al. (1993), Simonete et al. (1999), Silva et al. (1998) e Fiest et al. (1999).

Os aumentos nos valores de V% são originários dos teores de bases trocáveis presentes na composição desses resíduos. Aumentos nos teores de V% no solo pelo LE também foram observados por Simonete et al. (1999), Favaretto et al. (1997) e Fiest et al. (1999).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da composição química do solo, após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mostrando a variação dos teores de macronutrientes em decorrência da aplicação de diferentes fontes e doses de resíduos orgânicos.

Tabela 7. Resultados de N, P, K, Ca, Mg, Al<sup>3+</sup>, H+Al e S no solo, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	N g Kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K -----	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup> -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	H+Al	S
T <sub>1</sub> - CONV.	2,00 c	4,0 d	1,78 ab	6,75 c	1,50 a	22,25 a	94,50 a	560,37ab
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	3,50 ab	7,00 abc	1,39 abc	25,12 a	2,41 a	8,12 c	69,38 b	52,88 c
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	4,00 a	8,87 a	0,78 c	29,63 a	2,63 a	0,37 d	26,38 c	248,50 c
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	2,00 c	6,25 bcd	1,02 bc	8,38 c	2,12 a	21,75 a	93,50 a	301,75bc
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	2,13 c	7,00 abc	1,09 bc	16,88abc	2,17 a	19,00 ab	84,25 a	309,13bc
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	2,09 c	4,75 d	1,05 bc	10,38 bc	2,13 a	18,87 ab	87,63 a	334,75bc
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	2,38 c	8,00 ab	0,99 bc	19,63abc	2,25 a	18,12 ab	87,50 a	474,88ab
T <sub>8</sub> - 1½EC+ PK	2,91 b	6,50 bcd	2,02 a	17,13abc	2,27a	17,75 ab	82,13 a	573,88ab
T <sub>9</sub> - 1½LE + PK	3,00 b	8,12 ab	1,47 ab	24,13 ab	2,32 a	16,00 b	89,00 a	630,22 a
Médias	2,58	6,88	1,16	17,55	5,62	15,80	79,36	365,16
Dms	0,58	2,18	0,68	14,50	3,96	4,67	12,48	284,66
CV%	14,01	19,76	36,44	51,42	43,84	18,40	9,80	48,53

Com exceção do K, todos os macronutrientes tiveram seus valores aumentados com o incremento das doses dos resíduos orgânicos, confirmando que esses materiais orgânicos não são bons fornecedores de K.

Os tratamentos que receberam EC e LE no plantio e em cobertura obtiveram os maiores valores de N no solo ao longo do período avaliado. Isso ocorreu devido à mineralização mais lenta do nitrogênio desses resíduos, quando comparados aos tratamentos que receberam N em cobertura na forma mineral. Esses dados concordam com os resultados obtidos por Vieira & Cardoso (2003), que realizaram um ensaio em um período de seca e constataram aumentos nas quantidades de N mineral no solo com as doses de LE que foram aplicadas, sendo bem maiores que as obtidas nos tratamentos controle e no tratamento com fertilização nitrogenada.

Os níveis de P aumentaram com as respectivas adubações. Os tratamentos indicaram que o LE, por ser um material rico em P, forneceu maior quantidade deste elemento para o solo, de acordo com suas doses crescentes, concordando com os resultados obtidos por Ayuso et al. (1992). Mesmo assim, os teores de P ficaram abaixo dos níveis médios



considerados para plantas perenes, segundo Raij et al. (1997). Bertin & Bellingieri (2003) também constataram uma disponibilidade progressiva de P no solo, com o aumento das doses dos resíduos, assim como, Boaretto & Nakagawa (1982), Favaretto et al. (1997), Silva et al. (1997), Fiest et al. (1997), Silva et al. (1998) e Simonete et al. (1999).

Em relação aos teores de K, como era de se esperar, apesar de apresentar diferenças significativas entre os tratamentos, a adição de LE pouco influenciou os níveis deste elemento. Essa diferença é creditada muito mais as adições de K em cobertura nos tratamentos, do que a quantidade de K fornecida pelo lodo. Isso pode ter ocorrido também porque o LE, material de composição predominantemente orgânica, apresenta ação cimentante, formando grumos que favorecem maior percolação da água, com lixiviação de nutrientes, principalmente os monovalentes como o  $K^+$  (BERTIN & BELLINGIERI, 2003). Contudo, os níveis de K, no geral, se mantiveram medianos, de acordo com Raij et al. (1997), concordando com Rocha & Shiota (1999), de que o LE não deve ser considerado um fertilizante orgânico substituto da adubação convencional, mas sim complementar desta, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e conseqüentemente o custo da adubação. Favaretto et al. (1997), Galli et al. (1999), Simonete et al. (1999) e Fortes Neto & Cardoso (1999), também mostraram aumento nos teores de K no solo com a aplicação de LE. No entanto, Fiest et al. (1999) demonstraram que não houve efeito para K no solo através da aplicação deste resíduo.

O LE forneceu mais Ca para o solo do que o EC. Os tratamentos que continham doses crescentes de LE obtiveram os maiores teores deste nutriente. O aumento gradual na disponibilidade de Ca, pela aplicação de LE ao solo, tem sido observado por vários autores. Em Nitossolo, cultivado com cana-de-açúcar, Silva et al. (1998) encontraram aumento nos teores de Ca extraível com o aumento da dose de lodo. O mesmo efeito foi encontrado por Marques (1997) em solo LE textura média cultivado com cana-planta.

O aumento no teor de Ca pela aplicação do LE ao solo pode ser muito elevado no caso de se fazer uso da cal no processo de desinfecção do lodo. Segundo Corrêa (2001) alguns materiais apresentam em sua composição CaO, o qual é colocado logo após a retirada do lodo do fundo dos tanques, tornando-se CaOH; ambos os ânions acompanhantes do Ca possuem alto poder de correção de acidez do solo, além da presença em níveis elevados deste elemento nos lodos em geral.

Martins (2003) também obteve altos níveis Ca no solo com aplicação de doses crescentes de LE, assim como Bertin & Bellingieri (2003) que observaram aumentos com as aplicações de doses crescentes dos resíduos, superando o valor do tratamento testemunha nas maiores doses.

O Mg não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, porém os valores foram sempre maiores nos tratamentos com LE quando comparados ao demais. Contudo, verificou-se neste experimento um aumento nas médias de Ca + Mg com as crescentes doses tanto de LE como de EC. Berton et al. (1989) e Favaretto et al. (1997) em experimentos com a cultura do milho, obtiveram aumentos significativos nos teores de Ca e Mg com aplicação de LE. Ao contrário, Bertin & Bellingieri (2003) obtiveram no tratamento testemunha os maiores teores de Mg, devido aos baixos teores deste elemento no lodo utilizado.

O maior teor de  $Al^{3+}$  foi observado no tratamento CONV., que recebeu somente adubação mineral tanto no plantio quanto em cobertura, o que ocasionou uma maior acidificação do solo. Os tratamentos com EC e LE apresentaram um decréscimo de acidez ativa com o aumento das doses desses resíduos. O tratamento 1LE + LE, que recebeu somente LE tanto no plantio como em cobertura proporcionou uma elevação do pH do solo, o que resultou numa diminuição significativa dos teores de Al trocável, comprovando a eficiência deste material na redução da acidez ativa dos solos. Resultados semelhantes foram obtidos por Berton et al. (1989) e Favaretto et al. (1997), com a aplicação de LE.

O aumento dos valores da acidez potencial (H+Al) foi verificado em todos os tratamentos que receberam adubação mineral em cobertura. Tais resultados de variação de H+Al também foram encontrados por Silva et al. (2001) e indicam que ocorreu um efeito de acidificação do solo, causada pela adição dos fertilizantes minerais. Já para os tratamentos 1EC + EC e 1LE + LE, que não receberam adubação mineral, foi observado um decréscimo da acidez potencial. Esses resultados concordam com aqueles encontrados por Pavan (1993), o qual demonstrou que aplicações de EC curtido causaram aumentos no pH do solo e, conseqüentemente, diminuíram os teores tóxicos de Al. Provavelmente, os íons  $H^+$  na solução do solo foram adsorvidos na superfície do material orgânico, ou associaram-se com ânions orgânicos ou, ainda, ocorreram reações de troca entre os ânions orgânicos e hidróxidos terminais dos óxidos de Fe e Al (MIYAZAWA et al. 1987). Silva et al. (1998), em estudo de

campo feito em área de soqueira de cana-de-açúcar, também verificaram que o LE diminuiu a acidez potencial do solo e forneceu nutrientes para a cana-de-açúcar, principalmente P, S, Ca, Cu e Zn, o que refletiu em aumentos de produtividade de colmos e de açúcar por hectare.

Todos os tratamentos em que foram realizadas adubações de coberturas com fertilizantes na forma de sulfato de amônio obtiveram altíssimos índices de S no solo, segundo Raij et al. (1997). Os tratamentos 1EC + EC e 1LE + LE, no entanto, onde foram feitas adubações de cobertura na forma orgânica, obtiveram os menores índices. Aumento gradual na disponibilidade de S tem sido observado pela aplicação de LE ao solo (MARQUES, 1997). Em Nitossolo, cultivado com cana-de-açúcar, Silva et al. (1998) encontraram aumento nos teores S extraível com o aumento da dose de LE.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados da composição química do solo, após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mostrando a variação dos teores de micronutrientes em decorrência da aplicação de fontes e doses de resíduos orgânicos.

Tabela 8. Resultados de B, Cu, Fe, Mn, e Zn no solo aos 12 meses de aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T <sub>1</sub> - CONV.	0,01 b	0,82 c	224,00 a	8,75 a	4,25 c
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	0,50 ab	2,39 c	79,12 c	1,88 d	12,13ab
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	0,88 a	17,80 a	73,88 c	2,63 cd	17,50 a
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	0,01 b	0,97 c	119,50 b	5,25 bc	5,63 bc
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	0,01 b	3,01 c	114,50 bc	4,25 bcd	6,13 bc
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	0,38 ab	0,92 c	106,00 bc	4,00 bcd	7,50 bc
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	0,63 a	6,80 b	98,87 bc	4,01 bcd	16,12 a
T <sub>8</sub> - 1½EC+PK	0,50 ab	1,16 c	90,38 bc	3,38 cd	7,25 bc
T <sub>9</sub> - 1½LE+PK	0,88 a	7,49 b	82,75 bc	3,25 cd	18,37 a
Médias	0,42	4,59	109,88	4,47	10,69
Dms	0,62	2,40	35,09	2,92	6,54
CV%	93,20	32,51	20,45	40,68	38,10

Os teores de B no solo pouco se alteraram com a aplicação dos tratamentos. Em alguns deles até diminuiu, casos do CONV., ½EC + PK e ½LE + PK. O alto coeficiente

de variação deste elemento se deve aos valores próximos de zero, demonstrados em alguns tratamentos.

Os solos que receberam as diferentes dosagens com LE apresentaram os maiores teores de Cu no solo, concordando com Oliveira (1995) e Logan et al. (1997), o que evidencia a disponibilidade do elemento aplicado via lodo.

Os níveis de Fe e Mn no solo diminuíram com o aumento das dosagens dos resíduos. Isso se deve ao efeito alcalino do LE que aumentou o pH dos solos com o aumento das dosagens, deixando esses micronutrientes menos solúveis no solo. Isso também foi observado por Pavan (1993), que avaliou a aplicação de esterco de curral natural e biodigerido na fertilidade do solo, nutrição e produção de plantas de café e constatou a diminuição dos teores de Mn do solo, devido ao aumento do pH dos solos tratados com esterco curtido. Esses resultados discordam de Simonete & Kiehl (2002), que observaram aumento nos teores de Fe e Mn no solo, com a aplicação de LE.

Mesmo utilizando-se de um aparelho moderno e muito bem calibrado com as respectivas curvas padrões, a sensibilidade do equipamento de leitura não foi suficiente para detectar o teor do elemento Mo no solo.

O tratamento convencional proporcionou os menores teores de Zn no solo. Com aumento das doses de LE, o teor de Zn também aumentou. Isso se deve ao fornecimento deste elemento contido no lodo e, provavelmente, à formação de quelatos com alguns metais e matéria orgânica, que, de certa forma, dificultam a formação de hidróxidos insolúveis, principalmente em valores de pH corrigidos (BERTIN & BELLINGIERI, 2003). Aumento da disponibilidade de Zn no solo proporcionado pela aplicação de LE também foi observado por Berton et al. (1989). Segundo Kiekens (1995), os ácidos fúlvicos formam quelatos com os íons Zn em uma ampla faixa de pH, desta forma aumentando a solubilidade e, conseqüentemente, a mobilidade deste elemento. Marques (1997) e Simonete et al. (1999), também mostraram efeito positivo para Zn no solo tratado com LE.

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados da composição química do solo, após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mostrando a variação dos teores de metais pesados em decorrência da aplicação de fontes e doses de resíduos orgânicos.

Tabela 9 Resultados dos metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e Se no solo, aos 12 meses de aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	As	Cr	Ni	Pb
	-----mg Kg <sup>-1</sup> -----			
T <sub>1</sub> - CONV.	0,75 abc	0,417 a	0,79 a	0,12 c
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	1,00 ab	0,412 a	0,74 a	2,73 a
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	1,00 ab	0,412 a	0,77 a	2,81 a
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	0,88 abc	0,407 a	0,73 a	1,05 bc
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	0,75 abc	0,408 a	0,75 a	1,10 bc
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	0,38 abc	0,410 a	0,67 a	1,49 abc
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	0,25 c	0,410 a	0,68 a	1,70 abc
T <sub>8</sub> - 1½EC+PK	1,25 a	0,410 a	0,72 a	2,15 ab
T <sub>9</sub> - 1½LE+PK	1,13 a	0,412 a	0,75 a	2,21 ab
Médias	0,82	0,411	0,73	1,38
Dms	0,75	0,017	0,17	1,73
CV%	56,75	2,71	14,31	78,23

Todos os metais avaliados obtiveram valores abaixo dos níveis considerados críticos para o solo, de acordo com a tabela 1 da USEPA, (1993).

Os teores de As variaram com as diferentes doses dos tratamentos. O EC apresentou teores mais elevados que o LE em todos os tratamentos.

O Cd apresenta os maiores riscos de contaminação (GOMES et al., 1997), por permanecerem em formas trocáveis e solúveis em horizontes onde há maior número de cargas negativas, podendo tornar-se um elemento problema, pelo fato de ter maior mobilidade no ambiente. Porém após 12 meses de aplicação, a sensibilidade do equipamento de leitura não foi suficiente para detectar os baixos níveis de seu teor no solo, em função da aplicação dos tratamentos. Considerando que o LE consiste em um material rico em compostos orgânicos e com alto teor de ácido fúlvico solúvel, parte do Cd pode estar complexada, em solução, por ácidos orgânicos (OLIVEIRA, 1998). Bertoncini & Mattiazzo (1999) citam a competição que ocorre entre Cd, Zn e Cu por sítios ativos de ácidos húmicos, respeitando a ordem de compatibilidade e intensidade de adsorção a seguir: Cu > Zn > Cd.

Os resultados do elemento Cr acompanharam a elevação das doses dos resíduos, concordando com os resultados obtidos por Bertin & Bellingieri (2003) que testaram diferentes dosagens de LE nas propriedades químicas de um solo cultivado com milho. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos, mostrando que os valores foram semelhantes aos observados pela testemunha (CONV.), indicando não haver restrição ao uso deste resíduo no solo quanto a problemas com Cr, já que tais teores estão muito longe de alcançar os níveis de toxicidade, segundo a tabela 1. Esses resultados concordam também com Konrad & Castilhos (2002), em experimento realizado na cultura do milho, onde foram avaliados os teores de Cr, as alterações químicas do solo e crescimento das plantas decorrentes da adição de lodos de curtume.

A sensibilidade do equipamento de leitura não foi suficiente para detectar os teores dos elementos Hg e Se no solo, demonstrando que a dosagem utilizada para o período avaliado não ofereceu problemas de contaminação do solo com relação a esses elementos.

Apesar de não diferir estatisticamente, o maior teor de Ni foi encontrado no tratamento CONV. Isso também pôde ser observado nos tratamentos onde foram aplicadas as crescentes doses de LE em relação aos tratamentos que receberam as crescentes doses de EC, mostrando que o LE é um material que possui um maior teor deste elemento em sua composição. Porém, tais valores não chegam a atingir o nível de dano para o solo, segundo a tabela 1. Esses resultados concordam com Silva et al. (1998), que avaliaram um solo adubado com LE na cultura da cana-de-açúcar e constataram que, mesmo o LE contendo um teor de Ni bem próximo do limite máximo permitido pela CETESB (1999), o seu teor extraído do solo não ultrapassou  $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ , teor que não representa contaminação, pois está dentro da faixa de variação dos teores médios encontrados nos solos (ROVERS, et al., 1983).

Com o aumento das doses de EC e LE, os teores de Pb também aumentaram, porém, não chegaram a atingir níveis fitotóxicos ou que causassem danos à cadeia trófica. Esses dados concordam com Silva et al (1999), que analisaram o comportamento do Pb em solo argiloso tratado com lodo de esgoto contaminado e sua absorção pelas plantas.

É muito importante salientar que esse solo foi analisado apenas 1 vez aos 12 meses da implantação dos tratamentos. A aplicação anual prolongada de LE ao solo pode

se tornar restritiva ao sistema de produção agrícola pelo enriquecimento de metais pesados ao ambiente, como foi discutido por Bell et al., (1991). Warkentin (1992) reforçou a necessidade de realização de pesquisas de contaminação ambiental, considerando um maior intervalo de tempo, acima de 50 a 100 anos.

## 6.2 Diagnose foliar

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados da composição química das folhas de café, após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mostrando a variação dos teores de macronutrientes em decorrência da aplicação de diferentes fontes e doses de resíduos orgânicos no solo.

Tabela 10. Resultados dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de cafeeiro aos 12 meses de idade.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
T <sub>1</sub> - CONV.	45,13 ab	0,72 c	19,88 a	11,38 a	4,25 b	2,62 a
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	47,00 a	1,13 ab	19,62 a	10,13 bc	3,50 b	1,62 a
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	47,12 a	1,37 a	16,13 a	12,37 a	6,62 a	1,87 a
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	38,00 b	0,75 c	19,38 a	11,25 bc	4,25 b	2,25 a
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	46,00 ab	0,76 c	18,63 a	8,13 bc	4,38 b	2,28 a
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	43,38 ab	0,74 c	21,00 a	10,75 ab	4,63 b	2,12 a
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	47,29 a	0,85 c	21,00 a	6,28 c	4,00 b	2,17 a
T <sub>8</sub> - 1½EC +PK	47,25 a	0,75 c	21,50 a	12,16 a	4,83 ab	2,00 a
T <sub>9</sub> - 1½LE +PK	47,33 a	0,91 bc	19,87 a	5,75 c	4,87 ab	2,16 a
Médias	45,42	0,89	19,13	9,78	4,59	2,12
Dms	8,68	0,24	8,68	3,15	1,81	1,46
CV%	11,58	16,54	27,48	19,5	23,9	40,88

Apesar de não diferir estatisticamente, os resultados da análise de N nas folhas indicam uma maior tendência de acúmulo deste elemento para os tratamentos que receberam as maiores doses de LE e EC, suplementados com N mineral. Isso também foi observado por Pavan (1993), com um experimento em plantas de café, onde o enriquecimento

do esterco biodigerido com fertilizante nitrogenado causou a maior elevação de N foliar em nível próximo ao da adubação mineral exclusiva. Porém, segundo o autor, não houve diferença significativa comparando com os tratamentos que receberam somente adubação orgânica, demonstrando que o suprimento de nitrogênio mineral não foi um fator limitante na nutrição de N das plantas. Com isso podemos evidenciar o grande potencial de fornecimento de N via LE.

O elemento P também se apresentou disponível para as plantas de café. Isso foi constatado pelas maiores quantidades absorvidas nos tratamentos que receberam o resíduo em comparação com a testemunha. Os tratamentos 1LE+LE e 1EC+EC se destacaram com os teores mais elevados de P na folha, demonstrando o potencial desses resíduos no fornecimento deste elemento para as plantas de café. Esses resultados coincidem com os aumentos dos teores de P no solo através da aplicação destes tratamentos e também foram constatados por Silva et al, (1998) na cultura da cana-de-açúcar adubada com LE e Berton et al. (1989), em trabalho realizado na cultura do milho. A pronta disponibilidade do P deve-se ao fato de o lodo conter uma baixa relação C/P e de o fósforo contido neste tipo de resíduo digerido anaerobicamente estar, na sua maior parte, na forma inorgânica (SOMMERS, 1977).

As plantas submetidas aos tratamentos com EC demonstraram uma tendência maior de absorção de K, concordando com os trabalhos que mostram o pequeno fornecimento deste elemento para as culturas em geral, por parte do LE. Concordando com esses resultados, Pavan (1993), demonstrou que, apesar do esterco curtido não promover altos teores de K no solo, o teor obtido nas folhas de café foram equivalentes ao tratamento NPK.

Os teores de Ca e Mg nas folhas foram maiores no tratamento 1LE+LE, com aplicação de LE no plantio e em cobertura, comprovando que este resíduo tem um grande potencial de fornecimento desses elementos para a cultura do café. Esses dados concordam com os resultados obtidos por Berton et al. (1989), que encontraram as maiores quantidades de Ca e Mg absorvidas pelo milho nos tratamentos que receberam LE, o que vem a confirmar os maiores valores obtidos para esses dois elementos no solo.

A absorção de S pelas folhas não obteve uma diferença significativa entre os tratamentos, porém, demonstrou uma tendência de diminuição dos teores com aumento das doses de LE, devido ao aumento de pH proporcionado pelo maior fornecimento de MO nesses tratamentos. Esses resultados concordam com Corrêa (2001), que observou os valores



decrecentes de S absorvidos pelas mudas de café, em função da aplicação de fontes e doses de resíduos industriais e urbanos.

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados da composição química das folhas de café, após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mostrando a variação dos teores de micronutrientes em decorrência da aplicação de diferentes fontes e doses de resíduos orgânicos no solo.

Tabela 11. Resultados dos teores de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn em folhas de cafeeiro aos 12 meses de idade.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg Kg <sup>-1</sup> -----				
T <sub>1</sub> - CONV.	82 ab	3 bc	91 a	289 a	12 a
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	54 c	5 abc	45 b	61 e	11 a
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	78 b	7 abc	43 b	135 d	11 a
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	88 ab	4 abc	62 b	246 ab	2 e
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	80 b	3 bc	55 b	219 bc	3 de
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	86 ab	3 c	50 b	194 bcd	4 cd
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	106 a	7 abc	52 b	194 bcd	5 cd
T <sub>8</sub> - 1½EC+PK	84 ab	4 bc	45 b	190 bc	7 bc
T <sub>9</sub> - 1½LE+PK	99 ab	8 a	48 b	152 cd	7 bc
Médias =	84,11	4,88	54,55	186,66	6,88
Dms =	24,08	4,34	24,41	69,78	2,35
CV% =	17,31	48,85	24,16	22,82	21,56

Para o B, os tratamentos 1EC+EC e 1LE+LE com aplicação orgânica, obtiveram os menores resultados para este elemento, pois não receberam as pulverizações foliares que foram aplicadas nos outros tratamentos. Porém, os tratamentos com as maiores doses de LE apresentaram os melhores resultados, provenientes a menor parte pela concentração deste elemento no LE e a maior parte pelo fornecimento de B via foliar. Devido a essas pulverizações, alguns tratamentos excederam os limites adequados para a cultura, avaliados por Raij et al, (1997), que variam de 50 a 80 mg kg<sup>-1</sup>. Outro fator que explica a menor concentração de B nas folhas dos tratamentos 1EC+EC e 1LE+LE é o maior valor de pH dos solos onde foram aplicados esses desses tratamentos, assim como o teor de MO.

Em relação ao elemento Cu, os tratamentos com LE forneceram os maiores teores nas folhas de café. Porém, esses valores encontram-se bem abaixo do intervalo considerado adequado de 10 a 20 mg kg<sup>-1</sup>, relatado por Raij et al. (1997). Tal comportamento também foi observado por Anjos & Mattiazzo (2000), em experimento com plantas de milho, o que evidencia a disponibilidade deste elemento via LE. Berton et al. (1989), também observou a baixa absorção de Cu pelas plantas e creditou tal resultado a forte quelação que esse elemento sofre pela MO e pelo antagonismo que ocorre entre Cu e Zn na solução do solo.

As reduções nas concentrações foliares de Fe e Mn com a adição de LE e EC podem ser explicadas, em parte, pelo efeito neutralizante de acidez proporcionado por esses resíduos, provocando aumento do pH do solo e conseqüentemente redução na disponibilidade desses micronutrientes no solo. As aplicações foliares nos demais tratamentos aumentaram os teores de Mn nas folhas, chegando a extrapolar, em alguns casos, os níveis considerados adequados para a cultura do café, que varia de 50 a 200 mg kg<sup>-1</sup>, segundo Raij et al. (1997). Resultados semelhantes foram obtidos por Martins (2003) em um experimento com milho, onde foram avaliados a produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn por esta cultura, pela adição de LE com e sem calcário, e foram observadas as reduções nos teores de Fe e Mn com o aumento das doses de lodo.

A sensibilidade do equipamento de leitura não foi suficiente para detectar o teor de Mo nas folhas de café, mostrando a baixa disponibilidade deste elemento para absorção pelas plantas.

O tratamento CONV. forneceu mais Zn às folhas do que os demais. Os tratamentos 1EC+EC e 1LE+LE mesmo não recebendo as aplicações foliares, obtiveram um valor elevado nas folhas, comprovando que tanto o EC quanto o LE são bons fornecedores deste nutriente para as plantas. Isso também foi observado por Anjos & Mattiazzo (2000), que encontraram os maiores teores de Zn, em todas as partes das plantas de milho, nos tratamentos com LE, evidenciando a maior disponibilidade deste elemento pela adição do resíduo.

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados da composição química das folhas de café, após 12 meses da aplicação dos tratamentos, mostrando a variação dos teores de metais pesados em decorrência da aplicação de fontes e doses de resíduos orgânicos no solo.

Tabela 12. Resultados dos teores de metais pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e Se em folhas de cafeeiro aos 12 meses de idade.

Tratamentos	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb
T <sub>1</sub> - CONV.	0,36 a	0,10 a	0,042 a	0,000 a	0,09 a	0,08ab
T <sub>2</sub> - 1EC + EC	0,32 a	0,04 a	0,041 a	0,000 a	0,09 a	0,11 a
T <sub>3</sub> - 1LE + LE	0,41 a	0,03 a	0,041 a	0,002 a	0,09 a	0,02 b
T <sub>4</sub> - ½EC + PK	0,37 a	0,09 a	0,042 a	0,000 a	0,09 a	0,09 a
T <sub>5</sub> - ½LE + PK	0,41 a	0,08 a	0,042 a	0,000 a	0,08 b	0,07ab
T <sub>6</sub> - 1EC + PK	0,36 a	0,08 a	0,042 a	0,000 a	0,09 a	0,08ab
T <sub>7</sub> - 1LE + PK	0,42 a	0,07 a	0,042 a	0,000 a	0,08 b	0,02 b
T <sub>8</sub> - 1½EC+PK	0,41 a	0,06 a	0,041 a	0,000 a	0,09 a	0,12 a
T <sub>9</sub> - 1½LE+PK	0,51 a	0,05 a	0,041 a	0,001 a	0,07 c	0,07ab
Médias	0,39	0,06	0,041	0,0004	0,09	0,78
Dms	0,21	0,07	0,002	0,004	0,02	0,11
CV%	32,59	73,57	3,6	621,07	4,75	45,3

Todos os metais pesados avaliados não apresentaram teores considerados fitotóxicos para as plantas de café, encontrando-se em uma faixa bem abaixo do limite máximo permitido pela CETESB (1999), que fornece especificações de resíduos que podem ser usados na agricultura. Segundo Corrêa (2001) isso se deve ao fato da maioria dos resíduos orgânicos estudados apresentarem considerável quantidade de matéria orgânica e os metais pesados apresentarem afinidade pela mesma, através de adsorção aos quelatos, contribuindo para redução da solubilidade desses metais.

Mesmo os tratamentos não diferindo estatisticamente, os resultados demonstram que o LE é um material que fornece um maior volume de As quando comparado ao EC. Foi observado que o EC possui pouco As em sua composição. Os teores se elevaram com as crescentes doses de LE.

Mesmo não diferindo significativamente, foi observado que, a utilização de fertilizantes minerais resultou nos maiores valores de Cd e Cr nas folhas, demonstrando o grande fornecimento destes metais pesados para as plantas. Tanto o LE quanto o EC, também

demonstraram grande potencial de fornecimento de Cr se equiparando ao tratamento convencional, porém, com o aumento dos níveis de matéria orgânica e pH dos tratamentos, os teores de Cd e Cr obtiveram um decréscimo progressivo. Resultados semelhantes também foram constatados por Corrêa (2001).

Para o Hg, apenas as maiores dosagens de lodo aplicadas ao solo refletiram em irrisórios teores nas folhas, porém estão muito distante de atingir os limites críticos estipulados para este metal, segundo a USEPA (1993). Esses dados concordam com os resultados obtidos por Corrêa (2001), onde mesmo não apresentando diferença significativa, os maiores teores de Hg estiveram nos tratamentos com as maiores dosagens de LE.

A adubação mineral proporcionou os maiores valores de Ni nas folhas. Depois dele, o destaque foi para os tratamentos com EC, mostrando uma tendência de maior fornecimento deste metal quando comparado ao LE.

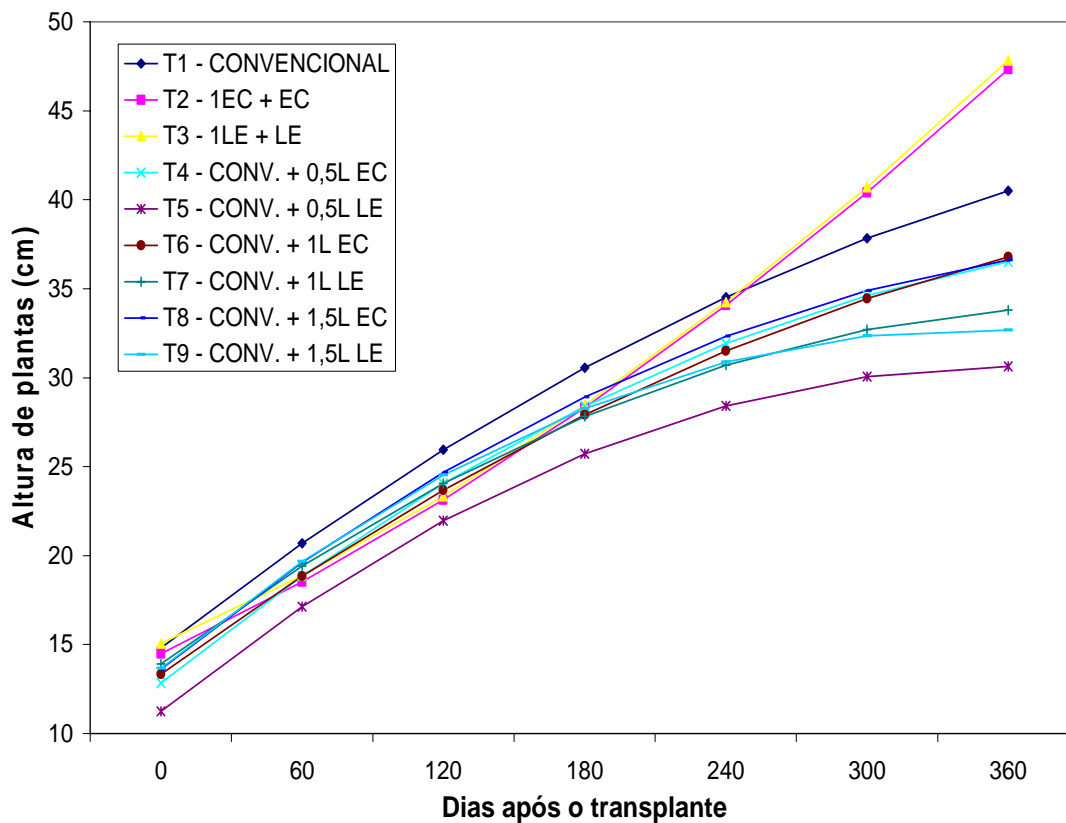
O Pb foi um elemento muito mais presente nas folhas onde as plantas foram tratadas com resíduos orgânicos. Os resultados mostraram que a adubação mineral foi a que menos forneceu Pb para as plantas. Esses resultados concordam com Silva et al. (1999), que estudaram o comportamento do Pb em solo argiloso tratado com LE contaminado e sua absorção pelas plantas.

Assim como no solo, não foram encontrados teores de Se nas folhas, demonstrando a baixa concentração deste elemento nos fertilizantes aplicados às plantas.

### **6.3 Parâmetros biométricos**

Na Figura 1 estão apresentados os resultados de crescimento das plantas em altura, com avaliações a cada 60 dias, sendo essas finalizadas após 12 meses da aplicação dos tratamentos.

Figura 1. Altura das plantas submetidas aos tratamentos e avaliadas a cada 60 dias.



Houve diferença entre os tratamentos a 5% de significância, em decorrência da aplicação de fontes e doses de resíduos orgânicos no solo.

Para todos os tratamentos foi utilizada a Regressão Polinomial Quadrática, pois dentre as quatro regressões testadas para cada tratamento, essa foi a que melhor representou o crescimento das plantas em altura, com aproximadamente 95% de probabilidade.

As funções, para cada tratamento, seguem abaixo:

$$T_1 - A = 14,798214 + 0,103668d - 0,000090d^2 \quad R^2 = 0,96$$

$$T_2 - A = 14,489583 + 0,062374d + 0,000080d^2 \quad R^2 = 0,95$$

$$T_3 - A = 15,067560 + 0,057768d + 0,000092d^2 \quad R^2 = 0,95$$

$$T_4 - A = 12,846458 + 0,107103d - 0,000115d^2 \quad R^2 = 0,93$$

$$T_5 - A = 11,258036 + 0,106860d - 0,000147d^2 \quad R^2 = 0,97$$

$$T_6 - A = 13,352976 + 0,096637d - 0,000088d^2 \quad R^2 = 0,95$$

$$T_7 - A = 13,711012 + 0,105372d - 0,000116d^2 \quad R^2 = 0,96$$

$$T_8 - A = 13,914881 + 0,099256d - 0,000122d^2 \quad R^2 = 0,96$$

$$T_9 - A = 13,668750 + 0,109449d - 0,000157d^2 \quad R^2 = 0,97$$

Os resultados demonstram uma considerável tendência de maior crescimento em altura, no T<sub>3</sub> (1LE + LE). Isso pode ser explicado pelos melhores resultados, obtidos por esse tratamento, em relação á absorção da maioria dos nutrientes, tanto macro como micronutrientes (Tabelas 10 e 11).

Inicialmente, houve um maior crescimento das plantas em altura no T<sub>1</sub>, exclusivamente convencional, em função da disponibilidade mais rápida dos nutrientes para as raízes. Essa tendência se estendeu até os 240 dias, quando os tratamentos orgânicos ultrapassaram essa taxa de crescimento, devido ao fornecimento gradual, porém contínuo dos nutrientes, principalmente, N e P (Figura 1).

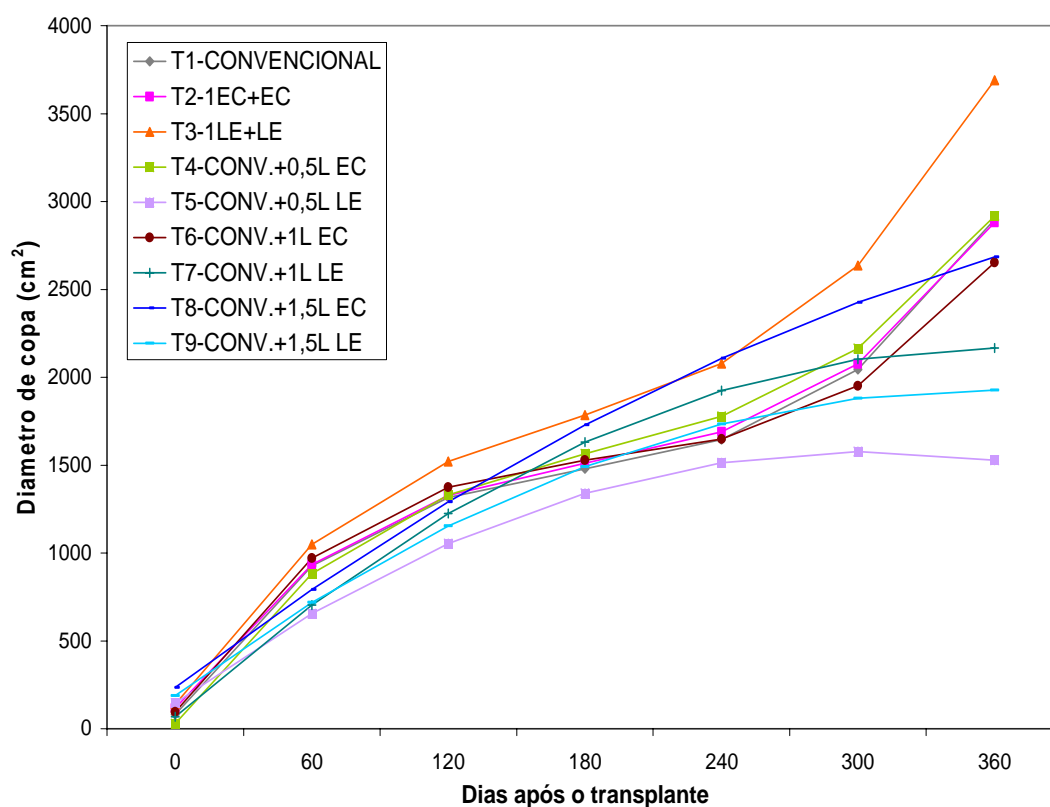
As plantas submetidas ao manejo 3 (1LE + LE), obtiveram os maiores índices de absorção de P e Ca (Tabela 10), principais nutrientes responsáveis pela formação de raízes. Saggin-Júnior et al. (1994), realizaram um experimento de interação de fungos micorrízicos versus superfosfatos testando os efeitos dessa interação no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro. Constataram um incremento em altura nos tratamentos em que as plantas absorveram mais P.

Esse manejo (1LE + LE) também forneceu os maiores volumes de matéria orgânica para o solo. As raízes puderam se desenvolver nos teores de pH mais próximos ao ideal, favorecidos pela aplicação deste resíduo. Essas constatações podem explicar esse crescimento em altura mais acentuado nas plantas submetidas a esse tratamento.

Resultados semelhantes foram obtidos por Favaretto et al. (1997), em plantas de milho, onde foram observados aumentos gradativos de altura, da testemunha até o tratamento com máxima dosagem de LE. Christodoulakis & Margaris (1996), constataram um incremento em altura nas plantas de girassol, submetidas às doses crescentes de LE.

Na Figura 2 são apresentados os resultados de crescimento da copa das plantas em diâmetro, com avaliações a cada 60 dias, sendo essas finalizadas após 12 meses da aplicação dos tratamentos.

Figura 2. Diâmetro de copa das plantas submetidas aos tratamentos e avaliadas a cada 60 dias.



Houve diferença entre os tratamentos a 5% de significância, em decorrência da aplicação de diferentes fontes e doses de resíduos orgânicos no solo..

Foi utilizada a Regressão Linear Polinomial Quadrática para se determinar as funções de cada tratamento. Dentre as quatro regressões testadas para cada tratamento, essa foi a que melhor representou o crescimento das plantas em diâmetro de copa, com aproximadamente 95% de probabilidade.

As funções, para cada tratamento, seguem abaixo:

$$T_1 - DC = 309,889881 + 6,439881d + 0,000323d^2 \quad R^2 = 86,86$$

$$\begin{aligned}
 T_2 - DC &= 326,690476 + 6,635789d - 0,000344d^2 & R^2 &= 93,71 \\
 T_3 - DC &= 373,696429 + 7,124107d + 0,003988d^2 & R^2 &= 94,46 \\
 T_4 - DC &= 222,389881 + 7,971205d - 0,002850d^2 & R^2 &= 91,44 \\
 T_5 - DC &= 147,232143 + 9,411905d - 0,015481d^2 & R^2 &= 97,26 \\
 T_6 - DC &= 313,401786 + 7,607813d - 0,004753d^2 & R^2 &= 87,30 \\
 T_7 - DC &= 69,648810 + 11,525223d - 0,015841d^2 & R^2 &= 94,26 \\
 T_8 - DC &= 235,925595 + 9,788393d - 0,008298d^2 & R^2 &= 91,74 \\
 T_9 - DC &= 187,238095 + 9,664435d - 0,013417d^2 & R^2 &= 92,26
 \end{aligned}$$

Assim como para o crescimento em altura, os resultados demonstram uma considerável tendência de maior crescimento em diâmetro de copa, nas plantas submetidas ao T<sub>3</sub> (1LE + LE). Isso pode ser explicado pelos melhores resultados, obtidos por esse tratamento, em relação á absorção da maioria dos nutrientes, tanto macro como micronutrientes (Tabelas 10 e 11).

Desde as primeiras avaliações, as plantas submetidas ao T<sub>3</sub>, obtiveram um destaque para o parâmetro diâmetro de copa. Essa tendência se estendeu até os 360 dias, ou seja, ao longo de toda fase de avaliação, demonstrando o melhor fornecimento de nutrientes para as plantas, obtidos por esse tratamento.

Assim como para altura de plantas, os mesmos motivos evidenciam o favorecimento de um maior desenvolvimento da parte aérea em plantas tratadas com LE no plantio e em cobertura.

Concordando com esses resultados, Saggin-Júnior et al. (1994), notaram uma interação entre o crescimento da parte aérea e as crescentes dosagens de P extraídas pelas plantas de café, evidenciando esta correlação positiva e demonstrando a alta exigência do cafeeiro ao nutriente P (Tabela 10).



#### **6.4. Considerações finais**

Trabalhar com lodo de esgoto é um desafio muito grande, mas que deve ser enfrentado, pois os bons resultados demonstrados em diferentes culturas, não deixam dúvidas sobre o potencial do material.

Acredito que as maiores dificuldades encontradas ao longo desta jornada foram as escassas ofertas de literatura sobre este tema na cultura do café, pois as pesquisas sobre lodo de esgoto estão mais focadas nas culturas do milho e cana-de-açúcar.

Neste trabalho, não foram constatados teores de metais pesados em concentrações que pudessem causar algum dano para o solo. Porém, é muito importante salientar que esse solo foi analisado apenas 1 vez aos 12 meses da implantação dos tratamentos. A aplicação anual prolongada de LE ao solo pode se tornar restritiva ao sistema de produção agrícola pelo enriquecimento de metais pesados ao ambiente.

Deve-se considerar a necessidade de realização de pesquisas de contaminação ambiental, considerando um maior intervalo de tempo.

## 7. CONCLUSÕES

O lodo de esgoto forneceu uma quantidade de nutrientes satisfatória para o desenvolvimento inicial das plantas de café, entre eles, N, P, Ca, S, Cu e Zn.

A adubação mineral proporcionou um desenvolvimento, nos primeiros meses, maior quando comparado às fontes orgânicas.

Porém aos 12 meses, foram observados, no tratamento com aplicação de LE no plantio e em cobertura, os melhores resultados em relação à altura das plantas e diâmetro de copa.

Com isso, pode-se concluir que, para as plantas de café, o lodo de esgoto não deve ser considerado um substituto total da adubação convencional, mas sim complementar desta, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e conseqüentemente o custo da adubação, além de melhorar quimicamente a estrutura deste solo.

Depois de 12 meses, não foram detectados teores de metais pesados que pudessem atingir o nível de dano para o solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL, Anuário da Agricultura Brasileira, p. 249-261, 2003.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley IX Sons, 1990. 339p.
- ALLOWAY, B.J.; JACKSON, A.P. The Behaviour of Heavy Metals in Sewage Sludge – Amended Soils. **The Science of the Total Environment**. London, p.151 – 176, 1991.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metais in soils**. London: Blackie A & P, 1995. 368p.
- AMARAL, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C. Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.22, n.02, p.345-352, 1998.
- AMARAL, J.F.T.; MARTINEZ, H.E.P.; CRUZ, C.D.; MANTOVANI, E.C.; NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de *Coffea arabica* L. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas, p.1324-1327, **Anais...**
- ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Volatilização de amônia após utilização de lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho Amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. **Anais...**
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.57, n.4, p.769-776, 2000.
- AYUSO, M.; HERNÁNDES, T.; GARCIA, C.; COSTA, F. Utilización de un lodo aerobio como substitutivo de fertilizantes fosforados inorganicos. **Suelo y Planta**. Madrid, v.2, p.271-280, 1992.
- BASTOS, R.K.X. Fertirrigação com águas residuárias. In: WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 1999, Piracicaba, p. 279-291, **Anais...**

- BELL, P.F.; JAMES, B.R.; CHENEY, R.L. Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal salt-amended soils. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.20, p.481-486, 1991.
- BENCKISER, G.; SIMARMATA, T. Environmental impact of fertilizing soils by using sewage and animal wastes. **Fertilizer Research**, v.37, p.1-22, 1994.
- BERTIN, E.G.; BELLINGIERI, P.A. Efeito da aplicação de lodo de esgoto, escória de aciária e calcário nas propriedades químicas de um solo cultivado com milho (*Zea mays* L.). **Científica**. Jaboticabal, v.31, n.1, p.81-89, 2003.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.13, p.187-192, 1989.
- BERTON, R.S. **Utilização de biossólidos na cultura do café**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2003, 3p. (Relatório).
- BERTONCINI, E.I.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.23, p.737-744, 1999.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.I.D.C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**. Piracicaba, v.75, p.44-54, 1983.
- BOARETTO, A.E.; NAKAGAWA, J. **Utilização de lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 1982, 14p. (Relatório Técnico).
- CAIXETA, I.F.; PEDINI, S. Cafeicultura orgânica: conceitos e princípios. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.23, n.214/215, p.15-20, 2002.
- CAMARGO, A.P.; GROHMAN, F.; DESSIMONI, L.M.; TEIXEIRA, A.A. Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão da água, por meio de cobertura transparente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21, 1984, Londrina, p.62-64, **Anais...**
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Nitrogen fractions in the microbial biomass in soils of southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.23, p.181-85, 1999.

- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; MORAES, A.A.; RUMJANEK, V.M.; OLIVARES, F.L. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: I. Métodos espectroscópicos (UV-Vis, IV, RMN <sup>13</sup>C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**. Campinas, v.24, n.4, p.741-750, 2000.
- CARELLI, M.L.C; FAHL, J.I.; ALFONSINI, E.L. Efeito de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2001, Vitória, **Anais...**
- CARMO, M.S.; MAGALHÃES, M.M. Agricultura sustentável: avaliação da eficiência técnica e econômica de atividades agropecuárias selecionadas no sistema não convencional de produção. **Informações Econômicas**, v. 29, p.7-46, 1999.
- CARMO, J.B.; LAMBAIS, M.R. Impacto da aplicação de biossólido na atividade microbiana dos solos. In: FERTIBIO, 2000, Santa Maria. **Anais...**
- CARVALHO, P.C.I.; BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**. Piracicaba, v.3, p.1-4, 1981.
- CARVALHO, W.A.; ESPINDOLA, C.R.; PACOLLA, A.A. **Levantamento de solos da fazenda Lageado-estação experimental “Presidente Médice”**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1983. 95p.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUENBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998, p.111-20.
- CETESB. **Sistemas de aplicação de biossólidos e lodos de tratamentos biológicos em áreas de uso agrícola – critérios para projetos e operação**. São Paulo, 1999, 29p. (CETESB. Norma P4230).
- CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M.; MACHADO, P.L.O.A. Distribuição de zinco e boro no perfil do solo em função do uso agrícola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. 1986, Londrina. **Resumos...** 1986. p.47-48.
- CHAVES, J.C.D. **Nutrição, adubação e calagem do cafeeiro**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1986, 24 p. (Circular 48).
- CHRISTODOULAKIS, N.S.; MARGARIS, N.S. Growth of corn (*Zea mays*) and sunflower (*Helianthus annuus*) plants is affected by water and some sludge from a sewage

- treatment plant. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. Greece, v. 57, n.2, p.300-306. 1996.
- COLLIER, L.S.; SANTOS, G.A.; PESSANHA, G.G.; PEREIRA, A.L. Efeito do composto de lixo urbano, fontes de Ca e Mg e adubação mineral sobre planossolo cultivado com berinjela e milho doce em sucessão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba, p.402-403, **Anais...**
- CORRÊA, J.C. **Utilização de resíduos industriais e urbanos na composição de substrato para mudas de café**. Botucatu, 2001. 189p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- EMBRAPA, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: **Embrapa**, ed.1, 1999, p.199-200.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; ALFONSINI, E.L. Interação de doses de N e K no crescimento e produção de cafeeiro em formação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 27, 2001, Uberaba. **Anais...**
- FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C.; DAROS, E. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. Curitiba, 1997.
- FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L.C.D.; SILVA, R.P.; OLIVEIRA, C.B. Estudo de fontes e doses de matéria orgânica para adubação de cafeeiro cultivado no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2000, Poços de Caldas, p.1042-1043. **Anais...**
- FERREIRA, D.F. Programa de Análise Estatística – SISVAR 4,6. Universidade Federal de Lavras, 2003, **CD ROM...**
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.23, p.515-524, 2001.
- FIEST, L.C.; ANDREOLI, C.V.; MACHADO, M.A.M.; CORRÊA, A.R. Influência da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades químicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17, 1999, Brasília, **Anais...**
- FORTES NETO, P.; CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da aplicação de lodo de esgoto da indústria de papel e celulose sobre as características químicas e a atividade microbiana

- do solo e o rendimento da matéria seca do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17, 1999, Brasília. **Anais...**
- FRESQUEZ, P.R. Sewage sludges effects on soil and plant quality in a degraded, semiarid grassland. **Journal of Enviromental Quality**. Madison, v.19, p.324-329, 1990.
- GALLI, J.A.; FRANCO, E.R.; BELLINGIERI, P.A.; FREITAS, J.C. Avaliação da escória de aciaria na produção de matéria seca, nutrição mineral e aspectos fisiológicos do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. moench). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. **Anais..**
- GOMES. P.C.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; MEND E.S. Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.21, p.543-551, 1997.
- GUIMARÃES, P.T.G.; NOGUEIRA, F.D.; LIMA, P.C.; GUIMARÃES, M.J.C.L.; POZZA, A.A.A. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.23, n.214/215, p.63-81, 2002.
- HUE, N.V. Sewage sludge. In: REICHCIGL, J.E. **Soil amendments environmental quality**. Boca Raton: CRC Press, 1995, p.199-247.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Ranton: CRC Press, 1986, 315p.
- KIEKENS, L. Zinc. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: Jonh Wiley, 1995. p.261-277.
- KONRAD, E.E.; CASTILHOS, D.D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.26, p.257-265, 2002.
- KORCAK, R. F.; FANNING, D. S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. **Soil Science Society of America Journal.**, Madison, v.140, n.1, p.23-24, 1985.
- LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de Corretivos Fertilizantes e Inoculantes – Métodos Oficiais**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Ministério da Agricultura. Brasília, 104p., 1988.

- LOGAN, T.J.; LINDSAY, B.J.; GOINS, L.E.; RYAN, J.A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.26, p.534-550, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 304p.
- MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J.A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981, 224p.
- MARQUES, M. O. **Incorporação do lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. Jaboticabal, 1997, 111p. Tese de Livre Docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- MARTINS, D.R. **Estado nutricional e qualidade de bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto**. Campinas, 2003, 98p. Dissertação de Mestrado - Instituto Agrônomo de Campinas.
- MATTOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; JORDÃO, C.P.; COSTA, L.M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.20, n.3, p.379-386, 1996.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BERTON, R.S. Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos. In: FERREIRA, M. E. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 1999.
- MCBRIDE, M.B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v. 24, n.5-18, 1995.
- MCLEAN, J. E.; BLEDSOE, B. E. Behavior of Metals in Soils. **Environmental Protect Agency**, October, 25p, 1992.
- MELO, W. J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.A. Efeito de doses de lodo de esgoto sobre a matéria orgânica e a CTC de um latossolo cultivado com cana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia, p.253-254, **Resumos...**
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um



- latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.18, n.3, p.449-455, 1994.
- MERCKX, R.; VANGINKEL, J. H.; SINNAEVE, J.; CREMERS, A. Plant induced changes in the rhizosphere of maize and wheat. II Complexation of cobalt, zinc and manganese in the rhizosphere of maize and wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.96, p.95-108, 1986.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Alterações no pH do solo após adições de resíduos vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1987, Campinas, p.90-91, **Resumos...**
- OLIVEIRA, F.C. **Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. Piracicaba, 1995, 90p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, F.C. **Avaliação do potencial de contaminação de dois solos agrícolas com lodo de esgoto enriquecido com cádmio, chumbo e zinco. Seropédica**. Rio de Janeiro, 1998, 191p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.58, n.3, p.581-593, 2001.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com cana-de-açúcar: Carbono orgânico, Condutividade Elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.26, p.505-519, 2002.
- PARKER, C.F.; SOMMERS, L.E. Mineralization of Nitrogen in Sewage Sludges. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.12, n.1, p.150-156, 1983.
- PAVAN, M.A. Avaliação da aplicação de esterco de bovino natural e biodigerido na fertilidade do solo, nutrição e produção do cafeeiro. **Boletim Técnico: Instituto Agrônomo do Paraná**. Londrina, v.45, p.7-15, 1993.
- RAIJ, B.VAN.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: INSTITUTO AGRONÔMICO, 1983, 31p. (Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B.VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLAN, A.M.C. **Recomendações para**

- adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p.97-101 (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B.VAN.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001, p.240-261.
- ROCHA, M.T.; SHIROTA, R. Disposição final de lodo de esgoto. **Revista de estudos ambientais**. v.1, n.3, p.1-25, 1999.
- ROS, C.O.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.257-261, 1993.
- ROVERS, H.; CAMARGO, O.C.; VALADARES, J.M.A.S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.212-220, 1983.
- SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARÃES, P.T.G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos *versus* superfosfato e seus efeitos no crescimento de teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.27-36, 1994.
- SANTINATO, R.; SILVA, V.A. Efeito dos macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu e Mn) na formação e produção do cafeeiro em solo latossolo vermelho amarelo fase arenosa (LVA) com cultivo anterior na região cafeeira de Franca-S.P. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26, 2000, Marília, p.338-340, **Anais...**
- SANTOS, S.C. **Eficiência da aplicação de resíduo biológico do branqueamento de argila como quelatizante de Zn na adubação foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Botucatu, 2003, 84p. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Botucatu.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D.; FEITOZA, L. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para o milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro 4p, CD-ROM, **Anais...**

- SILVA, M.S.; SOUZA, S.N.; LENZI, E.; LUCHESE, E.B. Comportamento do chumbo (Pb) em um Latossolo Vermelho Escuro textura média tratado com lodo contaminado e sua absorção pelas plantas. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.20, n.4, p.427-432, 1998.
- SILVA, M.S.; SOUZA, S.N.; LENZI, E.; LUCHESE, E.B. Comportamento do chumbo em solo argiloso tratado com lodo de esgoto contaminado e sua absorção pelas plantas. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.21, n.4, p.757-762, 1999.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.C.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.36, n.5, p.831-840, 2001.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; PLESE, L.P.M. Efeito do lodo de esgoto nas propriedades químicas de um solo podzólico vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília, **Anais...**
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta a adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.19, n.3, 2002.
- SOMMERS, L.E. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. **Journal Environmental Quality**. Madison, v.6, n.2, p.225-232, 1977.
- SOUSA, E.S.; LOPES, A.J.R.; STAMFORD, N.P.; FERRAZ, E.B.; OLIVEIRA, J.P.; FIGUEIREDO, M.V.B. Efeito do composto urbano, nitrogênio e mineralizantes em características químicas de um PVA cultivado com caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia, p.247-248, **Resumos...**
- SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. Department of Plant and Soil Sciences. University of Delaware. Newark. Delaware, 267 p., 1995.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989.277p.
- TERRY, R.E.; NELSON, D.W., and SOMMERS, L.E. Nitrogen Transformations in Sewage Sludge Amended Soil as Affected by Soil Environmental Factors. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, n.45, p.506-513, 1981.

- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; PEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York., 754p., 1984.
- TOLEDO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, E. G.; COSTA, T. E.; THOMAZIELLO, R. A. **Poda e Condução do Cafeeiro**. Campinas: CATI, 2000, 35p. (Boletim Técnico 238).
- TOLEDO FILHO, J.A.; THOMAZIELLO, R.A.; OLIVEIRA, E.G.; COSTA, T.E. **Cultura do Café**. Campinas: CATI, 2002, 103 p. (Boletim Técnico 193).
- TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T., COMPARINI, J.B., SOBRINHO, P.A. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001, p.289-363.
- TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 2002, 468p.
- UNITED STATES AGENCY OF PROTECTION ENVIRONMENT. **Standards for the use or disposal of sewage sludge**. Federal Register. Washington, D.C., v.58, n.32, p.9248-9415, 1993.
- VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.26, p.747-758, 2002.
- VEGA, F.V.A. **Uso do lodo de esgoto na implantação da cultura da pupunheira**. Campinas, 2003, 126p. Dissertação Mestrado – Instituto Agrônômico. Campinas.
- VEGRO, C.L.R.; MORICOCHI, L.; JOHNSON, B. **Café: realidade e perspectivas**. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, São Paulo, 1997, 67p.
- VIEIRA, F.R.; CARDOSO, A.A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.7, p.867-874, 2003.
- WARKENTIN, B.P. Soil science for environmental quality-how do we know what we know? **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.21, p.163-166, 1992.