

**UFS - POSGRAP - NEREN**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**AGROECOSSISTEMAS**

**DISSERTAÇÃO**

**Potencialidade do Uso Agrícola do Lodo de**  
**Esgoto de Sistema de Valo de Oxidação em**  
**Sergipe**

**Cleunice Leite Barreto Viana**

**2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS**  
**NEREN**



**POTENCIALIDADE DO USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO  
DE SISTEMA DE VALO DE OXIDAÇÃO EM SERGIPE**

**CLEUNICE LEITE BARRETO VIANA**

*Sob a Orientação do Professor Doutor*  
**Carlos Alexandre Borges Garcia**

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais da Universidade Federal de Sergipe como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas.

São Cristóvão, SE  
Agosto de 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Viana, Cleunice Leite Barreto  
V614p Potencialidade do lodo de esgoto proveniente de valo de oxidação da Companhia de Saneamento de Sergipe para uso agrícola / Cleunice Leite Barreto Viana. – São Cristóvão, 2006.  
105f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2006.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia.

1. Agroecossistemas. 2. Lodo de esgoto. 3. Biossólidos.  
4. Fitotoxicidade. 5. DTPA. I. Título.

CDU 628.336:631.879.2

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP**  
**NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS - NEREN**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS**

CLEUNICE LEITE BARRETO VIANA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, como dos requisitos parcial para obtenção do grau de Mestre em Agroecossistemas.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/08/2006

  
\_\_\_\_\_  
Professor Doutor Carlos Alexandre Borges Garcia  
Universidade Federal de Sergipe  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Professor Doutor Pedro Roberto Almeida Viégas  
Universidade Federal de Sergipe

  
\_\_\_\_\_  
Professora Doutora Luciana Coêlho Mendonça  
Universidade Federal de Sergipe

## DEDICATÓRIA

Robson, obrigada por me dizer, algumas vezes, o que eu realmente precisava ouvir em vez do que eu queria que dissesse. Também, obrigada por ter me mostrado que sempre tem outro lado a se considerar. A você amor, que em muitos momentos foi o meu refúgio... só gratidão é pouco, a você dedico este trabalho.

Anita, a te dedico, pela compreensão silenciosa e inocente nos momentos ausentes para que eu pudesse concretizar este sonho.

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, se não tiver amor, sou como o bronze que soa, ou como o címbalo que retine. Mesmo que eu tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência; mesmo que tivesse toda a fé, a ponto de transportar montanhas, se não tiver amor, não serei nada.

I Coríntios 13, 1 - 2.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia, pela orientação, incentivo, paciência e oportunidade de realização deste trabalho.

A Companhia de Saneamento de Sergipe, por gentilmente nos ter cedido o lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto do Orlando Dantas.

Ao Prof. Dr. José do Patrocínio Hora Alves, do Departamento de Química desta Universidade, pela colaboração através do Laboratório de Química Analítica Ambiental (LQA), fundamental para condução dos trabalhos.

Ao Prof. Dr. Carlos Dias da Silva Júnior do Departamento de Biologia por gentilmente ter cedido a casa de vegetação, sem a qual este trabalho não teria se concretizado.

A Embrapa Tabuleiros Costeiros nas pessoas dos pesquisadores Dr. Edmar Ramos Siqueira, Chefe geral; Dr. Lafayette Franco Sobral, supervisor do Laboratório de Fertilidade de Solo e Nutrição de Plantas; Dr. Fernando Luís Dultra Cintra, supervisor do Laboratório de Física do Solo e a José Henrique de A. Rangel, supervisor do Laboratório de Nutrição Animal.

À instituição financiadora CAPES, por um ano de bolsa de estudos.

Aos professores do curso de mestrado pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos professores Dra. Luciane Pimenta Cruz Romão e Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas pela contribuição no processo de qualificação.

Aos amigos do LQA Ana Paula, Bruno, Danielle, Débora, Elisangela, Fabiano, Fabrício, Grazielle, Kennedy Alexandre, Lara e Valter, pela amizade.

A Elisa e Ednalva, técnicas do Departamento de Química e, Seu João e Dona Auréa, do Departamento de Engenharia Agrônômica, pela colaboração em várias etapas.

As amigas do mestrado, Andréia, Andréa, Fátima, Maria Eliane, Marinoé Gonzaga da Silva e Raquel, por estarem presentes nas horas boas e nas difíceis também. E também aos colegas César, Cleidinison, Francisco, José Franco, Genival, Sandra, Vera Lúcia e Vandemberg pela convivência saudável.

Aos amigos da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Carlinhos, Daniel, Sr. Osvaldo, Robinson, Roberto, Sr. José Alves e aos pesquisadores Fernando Luís Dultra Cintra, Hélio Wilson Lemos de Carvalho, Joézio Luiz dos Anjos e Luis Carlos Nogueira pelas contribuições.

A minha mãe, Valdice Leite Barreto, pelo incentivo e aceitação das horas ausentes, meus irmãos Valdelice, Marcos, Marcelo e, em especial, a primogênita Helenice, pela presença constante em minha vida e ao meu pai, Antonio Barreto Filho, cuja saudade é eterna, que enquanto esteve presente me apoiou bastante.

A minha cunhada Iracema, pela amizade, confiança, estímulo e carinho.

Ao meu amor, esposo e companheiro, Robson Dantas Viana, pela grande contribuição em todas as etapas deste trabalho, além do incentivo nos momentos mais difíceis.

A minha mais nova razão de viver, Anita Barreto Viana, minha filhinha.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
LISTAS DE SÍMBOLOS .....	xi
CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1. Sustentabilidade nos Agroecossistemas .....	13
2.2. Biossólidos e Agricultura Sustentável.....	18
2.3. Disposição do Lodo de Esgoto .....	19
2.4. Alterações nas Propriedades do Solo.....	22
2.5. Legislação e Restrições ao Uso do Lodo de Esgoto.....	23
2.6. Biossólidos e Metais Pesados .....	27
2.7. Fitodisponibilidade de metais.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33
CAPÍTULO II - EFEITO DE BIOSSÓLIDOS EM ARGISSOLO ACINZENTADO DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DE SERGIPE .....	45
RESUMO .....	45
ABSTRACT .....	46
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.1. Lodo de Esgoto.....	49
2.2. Biossólidos .....	50
2.2.1. Biossólido caleado.....	50
2.2.2. Biossólido pasteurizado.....	51
2.2.3. Caracterização físico-química e microbiológica dos biossólidos.....	52
2.3. Características do Solo .....	53
2.4. Experimento .....	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
3.1. Efeitos dos Biossólidos nas Propriedades Químicas do ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã após Trinta Dias de Incubação.....	61

3.1.1. Influência na acidez ativa (pH), acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) e acidez trocável ( $Al^{3+}$ ).....	61
3.1.2. Influência nos teores de matéria orgânica e fósforo .....	65
3.1.3. Influência na disponibilidade dos cátions trocáveis ( $Ca^{+2}$ , $Mg^{+2}$ , $K^+$ e $Na^+$ )	67
3.2. Efeitos dos Biossólidos na Produção de Massa Seca de Plantas de Milho Trinta Dias após a Germinação .....	73
3.3. Metais no ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã.....	73
3.4. Acúmulo de Metais na Planta Indicadora.....	81
3.5. Fitodisponibilidade de Metais .....	85
4. CONCLUSÕES .....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
CAPÍTULO III - CONSIDERAÇÃO FINAL.....	95
ANEXOS.....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Hierarquia dos agroecossistemas .....	17
Figura 2.1. Estação de Tratamento de Esgotos do Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas.....	49
Figura 2.2. Adição de cal extinta ao lodo de esgoto.....	51
Figura 2.3. Lodo de esgoto na estufa para pasteurização.....	52
Figura 2.4. Coleta do solo no Campo Experimental de Umbaúba da Embrapa Tabuleiros Costeiros.....	55
Figura 2.5. Adição de água para colocar o sistemas solo-biossólido a 90% da capacidade de campo.....	57
Figura 2.6. Semeadura de dez sementes milho híbrido BRS 3150.....	57
Figura 2.7. Monitoramento e pesagens diárias.....	58
Figura 2.8. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC na acidez ativa (pH) do solo. ....	61
Figura 2.9. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC na acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) do solo. ....	62
Figura 2.10. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC na acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) do solo. ....	62
Figura 2.11. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC no índice de saturação por $Al^+$ trocável do solo.....	63
Figura 2.12. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de matéria orgânica do solo.....	66
Figura 2.13. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de fósforo do solo. ....	66
Figura 2.14. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de cálcio do solo. ....	68
Figura 2.15. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de magnésio do solo. ....	68
Figura 2.16. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de potássio do solo. ....	70
Figura 2.17. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de sódio do solo. ....	70

Figura 2.18. Influência da aplicação dos bio sólidos BP e BC na CTC potencial do solo. ....	71
Figura 2.19. Influência da aplicação dos bio sólidos BP e BC na soma de bases trocáveis do solo. ....	72
Figura 2.20. Influência da aplicação dos bio sólidos BP e BC no índice de saturação por base do solo. ....	72
Figura 2.21. Influência da aplicação dos bio sólidos BP e BC na produção de massa seca de plantas de milho. ....	73
Figura 2.22. Teores de cádmio extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	78
Figura 2.23. Teores de cobre extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	78
Figura 2.24. Teores de ferro extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	79
Figura 2.25. Teores de manganês extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	79
Figura 2.26. Teores de chumbo extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	80
Figura 2.27. Teores de zinco extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	80
Figura 2.28. Quantidade de cobre acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	83
Figura 2.29. Quantidade de ferro acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	83
Figura 2.30. Quantidade de manganês acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	84
Figura 2.31. Quantidade de chumbo acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	84
Figura 2.32. Quantidade de zinco acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC. ....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Concentrações limites de metais pesados no biossólido.....	26
Tabela 1.2. Limites anuais e cumulativos de metais pesados no solo.....	27
Tabela 1.3. Metais encontrados em biossólidos em trabalhos científicos desenvolvidos no Estado de São Paulo. ....	28
Tabela 2.1. Determinação microbiológica, da umidade e pH do lodo <i>in natura</i> .....	50
Tabela 2.2. Valores de pH a diferentes percentuais de cal extinta a 30% de sólidos totais de lodo. ....	50
Tabela 2.3. Características físico-químicas e microbiológicas dos biossólidos pasteurizados (BP) e caleado (BC). ....	53
Tabela 2.4. Características físicas e químicas do ARGISSOLO ACINZENTADO. ....	54
Tabela 2.5. Os teores de metais pesados encontrados nos biossólidos e os valores limites permitidos para aplicação de lodo de esgoto na agricultura ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). ....	60
Tabela 2.6. Quantidades totais de metais adicionadas ao solo pelos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caleado.....	74
Tabela 2.7. Os teores de metais extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 dos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caleado.....	74
Tabela 2.8. Comparação entre os teores de micronutrientes acumulados na planta indicadora em função das doses dos biossólidos e as suas faixas de teores adequados. ....	82
Tabela 2.9. Coeficiente de correlação linear simples entre o acúmulo de metal pelas plantas e os teores extraídos pelo extrator DTPA nos tratamentos que receberam o biossólido pasteurizado e caleado.....	86
Tabela A.1. Valores médios de pH, Al, H + Al, m, V e CTC nos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caleado, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância. ....	97
Tabela A.2. Valores médios de Ca, Mg, K, P, Na e matéria orgânica (M.O.) nos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caleado, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância. ....	98
Tabela A.3. Valores médios dos teores de metais extraídos pela solução extratora DTPA dos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caleado, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância. ....	99

Tabela A.4. Valores médios de matéria seca (MS), Cu, Fe, Mn, Pb e Zn acumulados nas plantas, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância. ....	100
--	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BC	Biossólido Caleado
BP	Biossólido Pasteurizado
DTPA	Ácido Dietilenotriaminopentacético
CFSEMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
LMA	Laboratório de Microbiologia Aplicada
LQA	Laboratório de Química Analítica Ambiental
NMP	Número mais provável
PFRP	Processo de redução adicional de patógenos
PSRP	Processo de redução significativa de patógenos
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
ST	Sólidos totais
UFS	Universidade Federal de Sergipe
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

## LISTAS DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cr	Crômio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
$\text{g dm}^{-3}$	Gramas por decímetro cúbico de solo
$\text{g vaso}^{-1}$	Gramas por vaso
Hg	Mercúrio
K	Potássio
$\text{kg ha}^{-1}$	Quilograma por hectare
$\text{kg t}^{-1}$	Quilograma por tonelada
m	Índice de saturação por alumínio
$\mu\text{g kg}^{-1}$	Micrograma por quilograma de solo
$\mu\text{g vaso}^{-1}$	Micrograma por vaso
$\text{mg dm}^{-3}$	Miligramas por decímetro cúbico de solo
$\text{mg kg}^{-1}$	Miligramas por quilograma de solo
Mg	Magnésio
$\text{Mg ha}^{-1}$	Megagrama por hectare de solo
$\text{mmolC dm}^{-3}$	Milimol de carga por decímetro cúbico de solo
Mo	Molibdênio
Mn	Manganês
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
Sn	Estanho
$\text{t ha}^{-1}$	Tonelada por hectare
V	Índice de saturação por bases
Zn	Zinco

# CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1. INTRODUÇÃO

A grande quantidade de esgotos gerados nos centros urbanos é um dos maiores problemas ambientais a serem enfrentados pela humanidade neste século. O volume crescente destes materiais associado à falta de tratamento e à sua disposição inadequada vem acelerando o ritmo de degradação dos recursos naturais.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente estima que cerca de 10% dos esgotos urbanos são tratados nas estações de tratamento de esgotos (ETEs) antes de serem lançados nos rios. Deste tratamento resulta a produção de um lodo rico em matéria orgânica e em nutrientes, denominado lodo de esgoto, cuja disposição final é problemática, chegando a representar 60% do custo de operação das estações de tratamento. A disposição final inadequada deste resíduo anula parcialmente os benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes (CAMARGO e BETTIOL, 2000).

No Estado de Sergipe, somente 10% dos esgotos são tratados pela Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), que atualmente atende apenas a três municípios com rede de esgotos: Aracaju, que conta com 31.391 ligações de esgoto, e aos municípios de Simão Dias e Lagarto que, juntos, possuem 1.035 ligações, beneficiando em todo o estado 162.551 habitantes (DESO, 2006). O lodo de esgoto aeróbio digerido na ETE – Orlando Dantas da DESO é armazenado em forma de pilhas a céu aberto na própria empresa, constituindo, portanto um passivo ambiental perigoso, uma vez que é fonte de vetores de doenças e de metais pesados.

Um destino adequado deve ser dado a esse resíduo e, para tal, algumas alternativas têm sido propostas. A alternativa mais viável é o seu uso na agricultura, pois o resíduo é fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas, e age como corretivo da acidez do solo quando recebe cal durante processo de estabilização; além disso, com a aplicação do lodo de esgoto ao solo, há o retorno ao campo de parte dos nutrientes exportados às cidades na forma de produtos agrícolas (SILVA et al., 2001). Certamente, a restrição mais relevante à sua utilização na agricultura é a contaminação por metais pesados e agentes patogênicos (ROCHA et al., 2003).

A utilização do lodo de estações de tratamento de esgotos, como condicionador de solos agrícolas, é prática já desenvolvida em diversos países do mundo como os Estados Unidos da América, Inglaterra, Japão, Austrália entre outros.

No Brasil, dado ao pequeno número de estações de esgoto existentes, esta forma de utilização de biossólido vêm sendo praticada apenas em Brasília, no Estado do Paraná e em Franca no Estado de São Paulo (TSUTIYA, 2002b).

Como o lodo de esgoto produzido no Estado de Sergipe constitui um passivo ambiente, pois até o momento não foi dada uma disposição final adequada, há dessa forma uma necessidade de caracterizá-lo química e biologicamente para verificar a sua potencialidade como condicionador de solo agrícola.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de dois biossólidos gerados a partir do lodo da estação de tratamento do Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas, da Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, nas propriedades químicas e biodisponibilização de metais pesados de um ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã, representativo de paisagens dos tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe. Este ecossistema, embora se destaque pela significativa importância econômica e social, como consequência da elevada densidade demográfica, ampla infraestrutura de apoio e da enorme capacidade atual e potencial para o uso agrícola, apresenta baixa capacidade de troca catiônica, baixa fertilidade de solo e baixos teores de matéria orgânica, justificando tal avaliação (SOUZA et al., 2001).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Sustentabilidade nos Agroecossistemas**

Os modelos de desenvolvimento econômico e social, adotados por inúmeros países, vêm expondo a população mundial aos reflexos catastróficos de uma exploração desordenada e insustentável do meio ambiente. Em âmbito global, o aquecimento do planeta e alterações nos padrões climáticos, e em âmbito regional, a poluição dos rios e a degradação dos solos são alguns exemplos dessas catástrofes ambientais (ANDRADE, 2004).

Por outro lado, a sociedade vem demandando pela manutenção e melhoria das condições ambientais, exigindo das autoridades e das empresas públicas e privadas atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais (CAMARGO e BETTIOL, 2000).

A “agricultura convencional”, o modelo agrícola atual, vem sendo tema de críticas e discussões quanto à sustentabilidade dos agroecossistemas. De acordo com

Gliessman (2001), este modelo agrícola tem como objetivo a maximização da produção e do lucro utilizando práticas do chamado “pacote tecnológico”, tais como: monocultura, cultivo intensivo do solo, irrigação, aplicação de fertilizantes sintéticos, entre outras, sem se preocupar com as conseqüências não intencionais em longo prazo, e sem considerar a dinâmica ecológica dos agroecossistemas.

Segundo Assis et al. (1995), a busca irrefreável por aumentos constantes de produtividade agrícola, através do uso de agrotóxicos e adubações minerais pesadas, tem provocado a poluição dos alimentos e do meio ambiente em níveis indesejáveis. E que este processo, citando Miyasaka e Nakamura (1989), foi desencadeado no século XVIII a partir da revolução industrial, trazendo mudanças radicais na agricultura, transformando em pouco mais de 200 anos, sua base tecnológica para o padrão atual “agricultura industrializada” que tem provocado problemas sociais e ambientais.

Como conseqüência da produção agrícola deste modelo, tem-se a destruição das florestas e da biodiversidade genética, a erosão e degradação dos solos, a poluição e esgotamento dos recursos naturais e a contaminação dos alimentos levando à insustentabilidade dos agroecossistemas (ALMEIDA, 1995). Além desses problemas associados ao próprio sistema de produção, outros são causados pela interação entre a agricultura e os fatores políticos, econômicos e sociais (Hodges, 1981 apud ASSIS et al., 1995).

Diante desse cenário de destruição e negligência, a solução tem sido buscar estabelecer um modelo que garanta a sustentabilidade dos agroecossistemas. Mas, para isto precisa-se entender o que é agroecossistema sustentável. Altieri (1999) define agroecossistemas como sistemas abertos que recebem insumos de fora e exportam produtos. Ressalta ainda, que os agroecossistemas são diferentes dos ecossistemas naturais, pois estes reinvestem grande parte da sua produtividade para manter a estrutura física e biológica necessária para sustentar a fertilidade do solo e a estabilidade biótica. A exportação de alimentos e as colheitas limitam esse reinvestimento nos agroecossistemas, fazendo-os dependentes de insumos externos para completar a ciclagem de nutrientes e o equilíbrio das populações (fauna e flora) que o habitam. E conceitua sustentabilidade como sendo a capacidade de um agroecossistema em manter a produção ao longo do tempo, apesar de distúrbios ecológicos e socioeconômicos em longo prazo.

A sustentabilidade também pode se definida como a habilidade de um sistema em manter a sua produtividade mesmo quando é submetido a estresses ou perturbações (CONWAY, 1987).

Azevedo (2002), citando Goodland (1995), diz que na dimensão ambiental a sustentabilidade refere-se à capacidade do sistema em manter a produtividade ao longo do tempo, sem provocar a destruição da base de recursos e sem que as externalidades representem restrições ao funcionamento do mesmo.

Segundo Almeida (1995), o desenvolvimento agrícola sustentável tem como filosofia neutralizar ou minimizar os efeitos das perturbações antrópicas no ambiente e apresenta algumas condições para uma agricultura sustentável:

1. Manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola;
2. Minimização de impactos adversos ao ambiente;
3. Retornos financeiro-econômicos adequados aos agricultores;
4. Otimização da produção das culturas com o mínimo uso de insumos químicos;
5. Satisfação das necessidades humanas de alimentos e de renda e
6. Atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais.

A maioria das definições de sustentabilidade, segundo Altieri (1999), inclui pelo menos três critérios:

1. Manutenção da capacidade produtiva dos agroecossistemas;
2. Preservação da diversidade da flora e fauna e
3. Capacidade do agroecossistema para automanutenção.

Para Altieri e Nicholls (2000), existem muitas definições para um modelo de agricultura sustentável. No entanto, certos objetivos são comuns à maioria das definições, que são:

1. Produção estável e eficiente dos recursos produtivos;
2. Segurança e auto-suficiência alimentar;
3. Uso de práticas agro-ecológicas ou tradicionais de manejo;
4. Preservação da cultura local e da pequena propriedade;
5. Assistência aos mais pobres através de um processo de autogestão;
6. Alto nível de participação da comunidade em decidir a direção de seu próprio desenvolvimento agrícola e
7. Conservação e regeneração dos recursos naturais.

Existem alguns indicadores para avaliar o comportamento dos agroecossistemas, tais como: sustentabilidade, equidade, estabilidade e produtividade. Estes indicadores são definidos a seguir:

1. Sustentabilidade: pode ser definida como a habilidade de um agroecossistema para manter a produtividade através do tempo quando submetido a distúrbios ecológicos e socioeconômicos em longo prazo (ALTIERI e NICHOLLS, 2000; CONWAY, 1987).
2. Equidade: é uma medida do grau de uniformidade com que são distribuídos os produtos do agroecossistema entre os produtores e consumidores (ALTIERI e NICHOLLS, 2000). Para Conway (1987), é a igualdade da distribuição da produtividade de um agroecossistema entre seus beneficiários, dessa forma, pode referir-se à distribuição da produção total de bens e serviços.
3. Estabilidade: é definida como a constância da produção sob um grupo de condições ambientais, econômicas e de manejo. Em alguns casos, o agricultor pode melhorar a estabilidade biológica do sistema selecionando cultivos mais adaptados ou desenvolvendo métodos de cultivos que permitam melhorar os rendimentos (ALTIERI e NICHOLLS, 2000).
4. Produtividade: é uma medida da quantidade de produção por unidade de superfície, trabalho ou insumo utilizado (ALTIERI e NICHOLLS, 2000). Segundo Marten (1988), é uma propriedade multidimensional dos agroecossistemas porque estes têm uma variedade de produtos para uma variedade de usos, para cada medida diferente de produção há valores diferentes de produtividade, por exemplo: biomassa para adubo animais ou de resíduos de planta para ser usado como fertilizante orgânico; energia para madeira ou resíduo de planta ser usado como combustível; energia, vitaminas, minerais e aminoácidos para alimentos e valor monetário para propósitos de troca.

De acordo com Conway (1987), se os agroecossistemas são definidos para incluir componentes ecológicos e socioeconômicos, então se deve considerar a natureza hierárquica desses sistemas ao se avaliar a sustentabilidade, mostrada na Figura 1.1. Um agroecossistema de base inclui o indivíduo planta ou animal, seu micro-ambiente e as pessoas que colhem isto. Exemplos são uma fruteira no jardim de um fazendeiro ou a vaca de leite em uma baía. Cada agroecossistema é componente do agroecossistema

imediatamente superior, como por exemplo: a planta individual em um campo de colheita ou um animal dentro de um rebanho. Próximo ao topo, encontra-se o agroecossistema nacional composto de agroecossistemas regionais unidos por mercados nacionais e acima está o agroecossistema mundial que consiste da união de agroecossistemas nacionais ligados pelo comércio internacional.

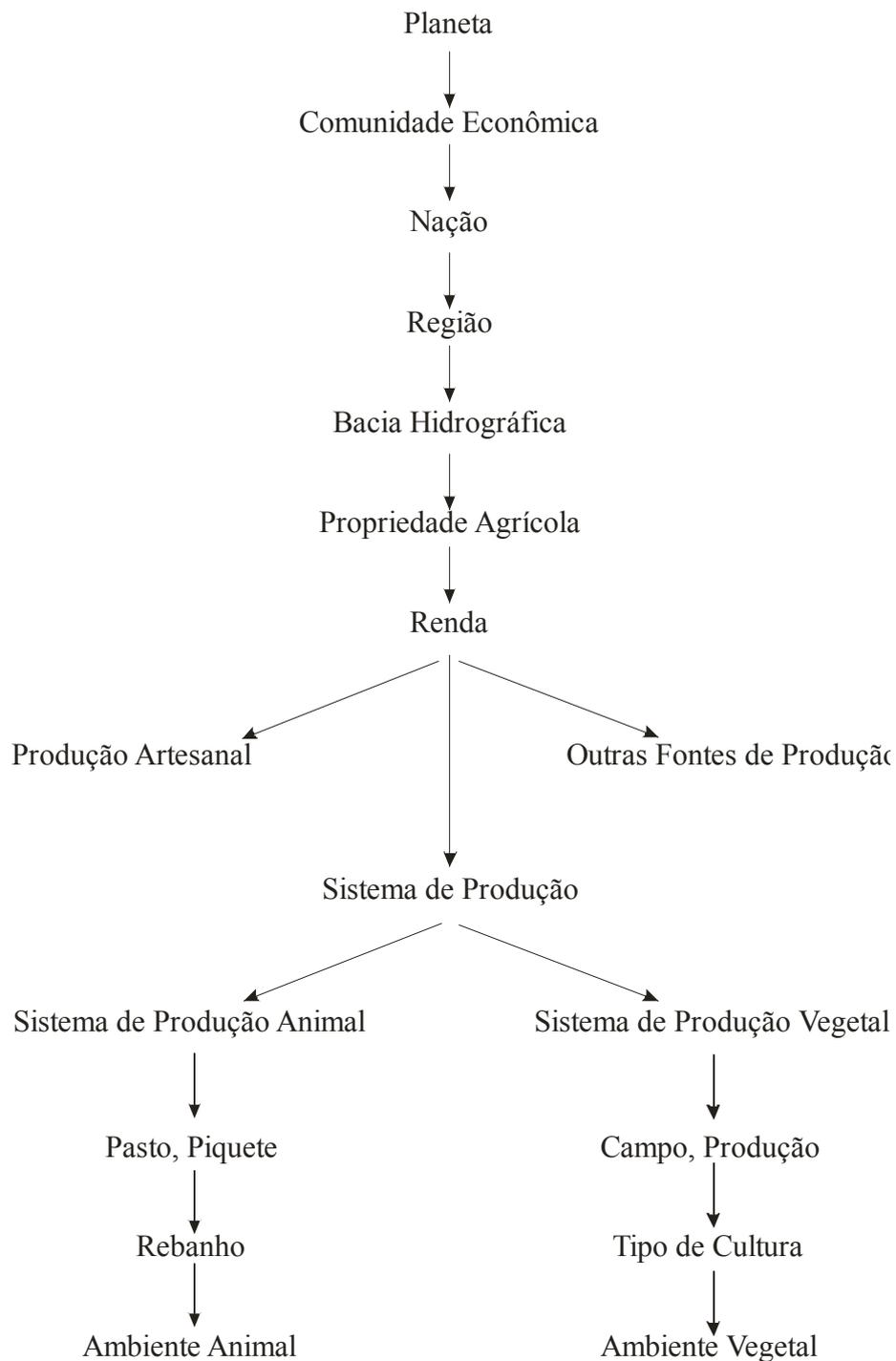


Figura 1.1. Hierarquia dos agroecossistemas

Assim, diante do exposto, deve-se sempre reforçar o conceito de desenvolvimento sustentável que a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas ajudou a construir, e que vem divulgando “desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer as possibilidades das futuras gerações em satisfazer as suas necessidades” (KITAMURA, 1994).

## **2.2. Biossólidos e Agricultura Sustentável**

Um dos maiores problemas ambientais a ser enfrentado neste século será a gestão de resíduo, qualquer que seja a sua origem (urbana ou agrícola), tendo em vista que a sua produção, cada vez mais disseminada, vem crescendo de maneira acentuada, sobretudo em função do crescimento populacional (MELFI e MONTES, 2002; REIS, 2002).

O sucesso de um sistema de tratamento de resíduos está fundamentado na adequada destinação final do resíduo. Esta prática teve importância reconhecida pela Agenda 21, em seu capítulo 21: “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”. Este capítulo traz as seguintes orientações:

1. Redução da produção de resíduos;
2. Aumento ao máximo da reutilização e reciclagem;
3. Promoção de depósito e tratamento ambientalmente saudável e
4. A ampliação do alcance dos serviços que se ocupam com os resíduos (ANDREOLI e PEGORINI, 1998; SANTOS, 2003).

A crescente demanda da sociedade pela adoção de práticas ambientais mais adequadas tem refletido também na ampliação dos níveis de tratamento de efluentes industriais e domésticos (CHAGAS, 1999). Desta forma, verifica-se o aumento da produção de lodo de esgoto, subproduto do tratamento de águas servidas (efluentes) nas estações de tratamento de esgoto (ETE), antes de sua devolução, com baixa carga poluidora, aos mananciais hídricos (GALDOS et al., 2004).

O lodo de esgoto é um resíduo, produzido nas ETES, composto essencialmente por matéria orgânica, macro e micronutrientes, e alguns agentes de poluição, metais pesados e microrganismos patogênicos (ERIKSEN et al., 1995; GASPARD et al., 1997; MENDONÇA, 1999; SCANCAR et al., 2000; SIMONETE, 2001; MALTA, 2001;

BARBOSA et al., 2002; MACIEL, 2003; RANGEL, 2003; MOLINA, 2004; PIGOZZO et al., 2004; GUEDES, 2005; OLIVEIRA et al., 2005; REZENDE, 2005)

De acordo com Pegorini et al. (2003), aproximadamente 40% da população brasileira dispõem de coleta de esgoto e apenas 10% deste esgoto coletado sofrem algum processo de tratamento. Esta questão manifesta-se como um problema emergente à medida que se implantam efetivamente os sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Assim a disposição adequada deste resíduo, gerado nos tratamentos dos esgotos, é um dos principais desafios a ser enfrentado pelos gestores ambientais, mesmo porque este problema tende a se agravar nos próximos anos com a inclusão de 70 milhões de habitantes como usuários das redes de esgotos (MELO et al., 2000; PEGORINI et al., 2003; RANGEL, 2003; GALDOS et al., 2004).

### **2.3. Disposição do Lodo de Esgoto**

A disposição final do lodo de esgoto tem se tornado um problema para a maioria das ETEs que não dispõem de uma alternativa consistente para o destino final deste resíduo (PEDROZA et al., 2005). O sucesso de um sistema de tratamento de águas residuárias consiste no destino final do lodo de esgoto gerado, evitando a poluição ambiental.

São muitas as possibilidades de aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto, destacando-se a disposição em aterro sanitário, reúso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmicas e também produção de cimento), incineração, conversão em óleo combustível, disposição oceânica, recuperação de solos degradados e uso agrícola e florestal (ANDREOLI e PEGORINI, 1998; LOURENÇO et al., 1999; CAMARGO e BETTIOL, 2000; TSUTIYA, 2000; TSUTIYA, 2002b; QIAO et al., 2003; KIMBERLEY et al., 2004; SILVÉRIO, 2004; GUEDES, 2005).

No entanto, embora a disposição do lodo de esgoto em aterros sanitários seja uma opção aceitável tecnicamente, esta apresenta o inconveniente de concorrer com os resíduos sólidos urbanos, custo de manutenção elevado e grande risco ambiental. Além do que a utilização de forma contínua e em grande quantidade diminui rapidamente a vida útil do aterro, tornando essa forma de disposição insustentável ao longo do tempo (ROCHA et al., 2004; GUEDES, 2005).

De acordo com Chagas (1999), a comunidade econômica européia formulou uma diretiva, adotada pelos países membros, que proibiu a disposição de resíduos

recicláveis em aterros sanitários a partir de 2002 e, nos Estados Unidos, essa proibição foi estabelecida para o ano 2004.

Outra alternativa de destinação final do lodo é o despejo nos oceanos, rios e lagos, prática proibida em todos os países desenvolvidos e também na China, por causar sérios danos ao ambiente. Segundo Pedroza et al. (2005) citando Tsutiya (1999), essa disposição oceânica é uma prática proibida nos Estados Unidos desde 1992 e na Comunidade Européia, desde 1998.

Embora a incineração seja uma alternativa prática de destinação final, não é econômica, pois demanda grande quantidade de energia e de equipamentos de custos elevados para evitar a emissão de gases poluentes para a atmosfera, além da geração de cinzas que necessitam, também, de um destino adequado (CHAGAS, 1999; MENDONÇA, 1999; SILVA et al., 2001; QIAO et al., 2003; ROCHA et al., 2004; PEDROZA et al., 2005).

Desde a mais remota antiguidade, o lodo de esgoto é utilizado na agricultura, principalmente entre os povos do oriente, como na China, onde a reciclagem dos excrementos humanos é prática rotineira. Hoje a utilização do lodo de estações de tratamento de esgotos, como condicionador de solos agrícolas já, é uma prática desenvolvida em diversos países europeus, nos Estados Unidos, Canadá, Japão e Austrália (VANZO et al., 2002).

Segundo Andreoli e Pegorini (1998), dentre as diversas alternativas, a reciclagem agrícola tem se destacado mundialmente, por reduzir a pressão de exploração dos recursos naturais e reduzir a quantidade de resíduos com restrições ambientais quanto a sua destinação final; viabilizar a reciclagem de nutrientes; promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo. É geralmente, a alternativa mais econômica, pois transforma um resíduo urbano em um importante insumo para a agricultura, capaz de melhorar a produtividade e diminuir a dependência de adubos químicos (LOURENÇO et al., 1999).

O lodo de esgoto, além de conter considerável percentual de matéria orgânica, possui elementos essenciais às plantas, podendo substituir parcial ou totalmente os fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2004; TRANNIN et al., 2005). O uso agrícola do lodo de esgoto como adubo orgânico é considerado hoje como a alternativa mais promissora de disposição final deste resíduo, devido a sua sustentabilidade

(ROCHA et al., 2004) e seu efeito pode ser potencializado, aliando-se à utilização agrícola o uso em sistemas florestais e recuperação de áreas degradadas.

De acordo com Guedes (2005), citando Poggiani et al. (2000), o uso do lodo de esgoto na agricultura além de representar benefício econômico, representa também benefício ecológico, pelo retorno ao campo de parte da matéria orgânica, dos nutrientes e da energia exportados para os centros urbanos (ANDRADE, 2004). Ainda segundo Guedes (2005), do ponto de vista social, o uso agrícola é um importante benefício para as grandes cidades, por criar uma forma de saída para um dos resíduos mais problemáticos gerados nas áreas urbanas. Além disso, o uso agrícola possibilita o benefício aos produtores rurais, através do aumento da produtividade das culturas e economia com a substituição, ainda que parcial, de fertilizantes.

Segundo Pedroza et al. (2005), citando Neiva (1999), a reciclagem agrícola de lodo tem se constituído em uma das formas de disposição final mais utilizada em diversos países desenvolvidos (Bélgica, 29%; Dinamarca, 54%; França, 58%; Alemanha, 27%; Itália, 33%; Espanha, 50%; Reino Unido, 44%) como condicionador e fertilizante do solo. De acordo com Tsutiya (2002b), os Estados Unidos, que produzem aproximadamente 13 milhões de toneladas ao ano (base seca) e a Europa, cerca de 7 milhões de toneladas ao ano (base seca), dispõem 25 e 36%, respectivamente, do que é produzido na agricultura. A Nova Zelândia pretende, até 2007, que 95% de todo lodo de esgoto destinado a aterro sanitário seja utilizado de forma benéfica na agricultura (KIMBERLEY et al., 2004).

No Brasil, em decorrência do pequeno número de estações de tratamento de esgoto, o uso agrícola do lodo de esgoto é restrito, ocasionalmente em escala comercial e geralmente em escala experimental, no Estado de São Paulo, no Estado do Paraná, no Estado do Rio Grande do Sul e no Distrito Federal. A estação de tratamento de esgotos da cidade de Franca, São Paulo, em outubro de 1999 recebeu o Registro de Estabelecimento Produtor de Insumo Agrícola pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento. O produto fabricado na estação é classificado pelo Ministério da Agricultura como Condicionador de Solo, com denominação comercial de Sabesfértil (VANZO et al., 2000).

A reciclagem agrícola, alternativa mais promissora de disposição final do resíduo gerado nas ETEs, não deve apenas considerar a disposição no solo, como uma forma de eliminar um problema urbano. De acordo com Andreoli e Pegorini (1998), as experiências negativas de uma utilização inadequada podem inviabilizar esta alternativa

no futuro face às resistências que podem gerar na sociedade decorrentes dos possíveis danos ambientais, agronômicos e sanitários.

#### **2.4. Alterações nas Propriedades do Solo**

De uma maneira geral, o lodo de esgoto é um produto que altera de forma positiva as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BETTIOL e FERNANDES, 2004).

Dentre os efeitos físicos no solo, destacam-se: a diminuição da densidade, aumento da porosidade, formação de agregados das partículas do solo e a conseqüente melhoria de infiltração e retenção de água no perfil do solo, favorecendo também a aeração e condicionando o solo para um melhor desenvolvimento das plantas (ANDREOLI e PEGORINI, 1998; MARCIANO, 1999; TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; BARBOSA et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2004; GAVALDA et al., 2005).

Com relação às propriedades biológicas, os altos teores de matéria orgânica e de nutrientes promovem o crescimento dos organismos no solo, os quais são de fundamental importância para a ciclagem dos elementos, dentre estes os nutrientes essenciais à nutrição das plantas (MARQUES et al., 2000; MALTA, 2001; MELO et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2004).

Do ponto de vista químico, o pH do solo pode sofrer acréscimos (LOURENÇO et al., 1999; MELO et al., 2000; BARBOSA et al., 2002; REIS, 2002; MARTINS et al., 2003; BORGES e COUTINHO, 2004a) ou decréscimos a depender do pH do lodo (SIMONETE, 2001; BETTIOL e FERNANDES, 2004; NASCIMENTO et al., 2004; PIGOZZO et al., 2004; TRANNIN et al., 2005), o qual dependerá do tratamento que o mesmo recebeu na ETE, com o objetivo de estabilizá-lo, diminuição da acidez potencial (MARQUES et al., 2000; MELO et al., 2000), assim como aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e da disponibilidade de macro e micronutrientes, melhorando a sua capacidade de fornecer nutrientes às plantas (GUEDES, 2005).

Segundo Andreoli e Pegorini (1998), o lodo de esgoto pode influenciar positivamente algumas características dos solos, melhorando sua sustentabilidade com reflexos ambientais imediatos, como a redução da erosão e a conseqüente melhoria da qualidade dos recursos hídricos.

Nascimento et al. (2004), estudando as alterações químicas em solos e crescimento de milho e de feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto, observaram que a

aplicação de doses crescentes de lodo promoveu diminuição do pH, aumento nos teores de matéria orgânica, do nitrogênio total, do fósforo, do potássio, do sódio, do cálcio e do magnésio dos solos; e que os teores dos metais pesados nos solos e nas plantas estiveram abaixo dos limites fitotóxicos para utilização agrícola. A diminuição do pH neste estudo ocorreu porque o lodo usado não sofreu, em seu tratamento, estabilização com cal virgem.

Castro et al. (2002), em seu estudo sobre o efeito do lodo de esgoto como recuperador de áreas degradadas para fins agrícolas, concluíram que a produção de matéria seca de aveia e de milho foram superiores nos tratamentos em que foi aplicado lodo de esgoto; os tratamentos com lodo de esgoto apresentaram pequenas variações em relação ao pH, tendo estas variações sido influenciadas pela interação dos fatores adubação e degradação; houve um aumento significativo dos teores de cálcio e magnésio em função da utilização do lodo calado e que houve incremento significativo nos teores de carbono em função do uso do lodo de esgoto com adubo orgânico.

## **2.5. Legislação e Restrições ao Uso do Lodo de Esgoto**

A reciclagem na agricultura do lodo de esgoto exige a produção de um insumo de qualidade, seguro, que garanta a adequação do produto ao uso agrícola. A composição do lodo de esgoto é um problema, seus micropoluentes, especialmente os metais pesados, tendem a se acumular irreversivelmente no solo. O lodo de esgoto contém outros agentes tóxicos (dioxinas, furanos, vírus, fungos, protozoários, bactérias, helmintos etc.), mas os metais pesados podem expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo, podem alcançar níveis tóxicos no solo e acumulam-se nas partes comestíveis das plantas (ANDREOLI e BONNET, 1998; STENGER, 2000), entrando, desta forma, na cadeia trófica de homens e animais, causando toxidade, como também pode ocorrer lixiviação para o lençol freático, contaminação dos aquíferos (LOPES, 2001; MALTA, 2001; OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001; SILVEIRA, 2002; RANGEL, 2003; MARTINS et al., 2003; PIRES et al., 2004, OLIVEIRA et al., 2005).

Desde que os biossólidos - lodos gerados nos processos de tratamento de esgotos sanitários, que podem ser reutilizados de forma benéfica, após tratamento adequado (MENDONÇA, 1999; REIS, 2002; TSUTIYA, 2002a; DAVID, 2002; SANTOS, 2003; GUEDES, 2005; REZENDE, 2005) - começaram a ser utilizados na agricultura, em

escala mais intensa, a ausência de regulamentação específica (MENDONÇA, 1999; DAVID, 2002; RANGEL, 2003; GUEDES, 2005) para o seu uso correto e seguro passou a ser uma preocupação. Assim, à medida que os trabalhos científicos eram conduzidos, as instituições ambientais e de saúde foram normatizando as suas conclusões.

No Brasil, as normas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do Estado de São Paulo e da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), assim como o Projeto de Legislação Federal atualmente em discussão, baseiam-se na legislação americana da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1992), EPA CFR 40 part 503. Já o Estado do Paraná, através Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), vem realizando um trabalho interdisciplinar e interinstitucional que deverá culminar na regulamentação e definição de normas, as quais foram propostas com base em alguns critérios adaptados da legislação espanhola, uma das mais rígidas do mundo (ANDREOLI et al., 2000; PIGOZZO, 2003).

A legislação americana, norma EPA CFR 40 part 503, estabelece três parâmetros que devem ser atendidos para que o bio-sólido possa ser utilizado na agricultura: densidade de patógenos, redução da atração a vetores e os limites máximos, cumulativos e anuais de metais pesados (CHAGAS, 1999; CARVALHO e CARVALHO, 2002; DAVID, 2002).

Segundo essa legislação americana, os bio-sólidos, após, submetidos a processos de redução de microorganismos, são classificados como classe A (excepcional qualidade) ou classe B (com restrições), que são os únicos permitidos para o uso na agricultura.

Para o bio-sólido classe B, exige-se apenas que a densidade de coliformes fecais seja inferior a 2.000.000 NMP/g ST (número mais provável por grama de sólidos totais) após passar por algum processo de redução significativa de patógenos (PSRP – Process to Significantly Reduce Pathogens, denominado assim pela EPA CFR 40 part 503). Já para o bio-sólido classe A, resultante de algum processo de redução adicional de patógenos (PFRP - Process to Further Reduce Pathogens, também denominado assim pela EPA CFR 40 part 503), exigem-se valores inferiores a 1.000 NMP/g ST para coliformes fecais, 3 NMP/4g ST para *salmonella* e 1 ovo viável de helmintos por 4g de ST (CHERUBINI, 2000; CARVALHO e CARVALHO, 2002; DAVID, 2002).

O bioestabilizado classe A é obtido pela compostagem (com revolvimento mecânico durante cinco dias), secagem térmica, tratamento térmico, digestão aeróbica termofílica, irradiação (com raios beta ou raios gama) ou pasteurização; enquanto o bioestabilizado classe B é obtido pela digestão aeróbica, secagem ao ar, digestão anaeróbica, compostagem ou estabilização com cal (CHERUBINI, 2000; CARVALHO e CARVALHO, 2002; DAVID, 2002).

Segundo David (2002), de acordo com norma EPA CFR 40 part 503, para a classificação do bioestabilizado em classe A é necessário apenas a verificação de coliformes fecais ou *salmonella sp*, enquanto a norma da CETESB requer a verificação dos dois parâmetros e não um ou outro.

Com referência ao bioestabilizado classe A, não há restrições quanto ao uso, desde que não haja limitações quanto aos metais pesados e à redução de atração aos vetores. Já com respeito ao bioestabilizado classe B, devido à presença maior de patógenos, há restrições quanto ao seu uso na agricultura no que se refere às culturas de alimentos, cujas partes comestíveis entrem em contato com o bioestabilizado, pastagens de animais e locais de acesso público (CHAGAS, 1999; CARVALHO e CARVALHO, 2002; DAVID, 2002; SANTOS, 2003; MOLINA, 2004).

A atração aos vetores, tais como ratos, baratas, insetos, moscas e pássaros, que são disseminadores potenciais de patógenos no ambiente, deve ser reduzida para que o bioestabilizado possa ser utilizado no campo. Existem diversos processos de tratamento de bioestabilizado para redução da atração de vetores, dentre os quais citamos a estabilização química e a secagem térmica (CARVALHO e CARVALHO, 2002; DAVID, 2002).

Outro parâmetro a ser considerado para a utilização do bioestabilizado é a presença de metais pesados, que constitui uma das principais restrições ao seu uso na agricultura (OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001; BORGES e COUTINHO, 2004b; OLIVEIRA et al., 2005; SILVA, et al., 2006). De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são muito maiores que às naturalmente encontradas em solos, daí a necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação desse resíduo. Esses riscos dependem de características do solo, tais como: conteúdo original do metal, textura, teor de matéria orgânica, tipo de argila, pH e capacidade de troca catiônica, entre outras (PIGOZZO et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2004; MARTINS, 2005).

A norma brasileira, em consonância com a legislação americana, estabelece os limites máximos de metais pesados presentes no lodo (Tabela 1.1), bem como limites anuais de aplicação e limites cumulativos desses metais no solo (Tabela 1.2).

Tabela 1.1. Concentrações limites de metais pesados no bio sólido.

<b>Metal pesado</b>	<b>Limite máximo*</b>	<b>Lodo de excepcional qualidade*</b>
Arsênico	75	41
Cádmio	85	39
Cromo	3.000	1.200
Cobre	4.300	1.500
Chumbo	840	300
Mercúrio	57	17
Molibdênio	75	18
Níquel	420	420
Selênio	100	36
Zinco	7.500	2.800

\* expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$

Fonte: CARVALHO e CARVALHO, 2002.

Além dos limites de metais pesados no bio sólido, é importante o seu efeito cumulativo no solo, existindo um limite anual e outro cumulativo para período de 20 anos (Tabela 1.2).

Tabela 1.2. Limites anuais e cumulativos de metais pesados no solo.

<b>Metal pesado</b>	<b>Limite Anual*</b>	<b>Limite cumulativo*</b>
Arsênico	2,0	41
Cádmio	1,9	39
Cromo	150,0	3.000
Cobre	75,0	1.500
Chumbo	15,0	300
Mercúrio	0,85	17
Molibdênio	0,90	18
Níquel	21,0	420
Selênio	5,0	100
Zinco	140,0	2.800

\* expressos em mg kg<sup>-1</sup>

Fonte: CARVALHO e CARVALHO, 2002.

## 2.6. Biossólidos e Metais Pesados

Os metais pesados são constituídos por grupo de elementos com densidade atômica maior que 5 g m<sup>-3</sup>, que a depender das concentrações podem contaminar o ambiente. O termo “metal pesado” tem sido atribuído de forma mais abrangente a qualquer elemento, seja este metálico, semi-metálico ou não metálico quando associado aos problemas de poluição, contaminação e toxicidade (SIMONETE, 2001; MARQUES et al., 2002).

De acordo com Berton (2000), os metais pesados podem permanecer no solo durante muito tempo, dificultando a sua remoção. No biossólido de origem urbana, adicionado de água de chuva e de esgoto industrial, os metais comumente encontrados são: cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cobalto (Co), crômio (Cr), estanho (Sn), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn), dos quais o Cu, Fe, Ni, Mn, Mo e Zn, são essenciais aos vegetais e o Co às bactérias fixadoras de nitrogênio. São indispensáveis aos animais o Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn contidos no biossólido. No entanto, quando o biossólido é proveniente de áreas estritamente residenciais, a presença de metais pesados é reduzida.

Maciel (2003), citando Alloway (1995), destaca os metais pesados: Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb e Zn como os principais contaminantes inorgânicos. Segundo Pigozzo (2003), citando Kim et al. (1988), existem considerações especiais das agências de proteção ambiental a respeito do Cd, sendo considerado o mais perigoso, devido ao seu comportamento químico no solo e a habilidade das plantas e animais em acumular

este elemento. Na Tabela 1.3 são evidenciados alguns metais encontrados em biossólidos em trabalhos científicos desenvolvidos no Estado de São Paulo.

Tabela 1.3. Metais encontrados em biossólidos em trabalhos científicos desenvolvidos no Estado de São Paulo.

Autor	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb	Na
	mg kg <sup>-1</sup>								
Marques, 1990 (ESALQ)	27299	510	1102	2814	n.f.	n.f.	n.f.	n.f.	45898
Barretto, 1995 (ESALQ)	37960	323	800	2036	19	545	378	n.f.	n.f.
Marques, 1996 (UNESP)	170955	54	2404	4327	31	2227	1331	834	n.f.
Bertoncini, 1997 (ESALQ)	n.f.	n.f.	951	3121	35	57	475	n.f.	n.f.
Pires, 1998 (ESALQ)	48000	239	414	2048	15	361	199	n.f.	n.f.
Andrade, 1999 (ESALQ)	39763	n.f.	394	1555	14	378	227	n.f.	n.f.
Anjos, 1999 (ESALQ)	n.f.	331	741	1835	17	383	390	193	n.f.
Oliveira, 2000 (ESALQ)	n.f.	n.f.	784	1569	28	385	239	153	n.f.
Simonete, 2001 (ESALQ)	30295	173	193	943	n.f.	207	n.f.	108	523

n.f. não fornecido; ESALQ - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e UNESP - Universidade Estadual Paulista.

Fonte: MARQUES et al., 2002.

Quando adicionados ao solo, os metais pesados podem seguir caminhos indesejáveis, como serem lixiviados, atingindo o lençol freático, como também serem absorvidos pela planta, que alimentarão os herbívoros, chegando ao homem e animais.

Kim et al. (1988), citados por Simonete (2001), ressaltam que a introdução de metais pesados na cadeia trófica não depende somente das características do lodo e das doses que são aplicadas, mas também das características químicas e mineralógicas do solo no qual este resíduo é aplicado, das características climáticas da região e das espécies de plantas cultivadas. Ainda Simonete (2001), citando Chang et al. (1987), relata que, estes autores, em estudo sobre a absorção de metais pesados por plantas cultivadas em solos que receberam doses anuais de lodo por aproximadamente 10 anos, de maneira geral, a absorção de metais pelas plantas é inferior a 1% da quantidade adicionada via lodo de esgoto.

Apesar de serem evidentes as vantagens da reciclagem agrícola do lodo de esgoto, esta prática deve ser criteriosa, baseada em estudos científicos, devido à presença dos metais pesados.

Rangel (2003), avaliou a disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho distroférico após aplicação de lodos oriundos das Estações de Tratamento de Barueri e de Franca. Este autor constatou aumentos nos teores totais desses elementos no solo devido à elevada concentração desses metais, principalmente, no lodo da ETE de Barueri, cujos níveis de Ni e Zn, encontravam-se mais próximos dos limites estabelecidos pela EPA CFR 40 part 503, podendo se acumular no solo, contaminando as culturas agrícolas e os elementos da cadeia alimentar, causando sérios riscos à saúde humana e ao ambiente.

Anjos e Mattiazzo (2000), ao avaliar a capacidade de acúmulo de metais no solo e nas plantas de milho cultivadas em Latossolo Roxo distrófico de textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média, que receberam cinco aplicações de lodo de esgoto totalizando 387,9 Mg ha<sup>-1</sup> (base seca), verificaram, nos dois solos adubados com lodo, que houve aumento nas concentrações de Cr, Cu, Ni e Zn; contudo, esses acréscimos não ultrapassaram os limites estabelecidos pela EPA CFR 40 part 503. É importante citar que os teores de Cd e Pb, no solo, estavam abaixo do limite de determinação do método analítico utilizado. Constataram também que, com relação ao acúmulo de metais pesados pelas plantas, ocorreu aumento de Cu e Zn nas diversas partes das plantas analisadas, contudo, não foram verificados problemas de fitotoxicidade.

## **2.7. Fitodisponibilidade de metais**

A concentração total de metais no solo pode ser utilizada como um indicativo do efeito da aplicação de biossólidos na agricultura, porém não pode refletir na sua biodisponibilidade. Os metais podem estar presentes no solo e não estarem na forma assimilável pelas plantas, podendo permanecer assim por longos anos e não serem absorvidos em quantidades tóxicas. Segundo Egreja Filho (1993), citado por Simonete (2002), estudos têm demonstrado não haver correlação entre o teor total de metais pesados no solo e sua fitotoxicidade.

De acordo com Simonete (2001), citando Adriano (1986), o procedimento comumente utilizado para a avaliação da fitodisponibilidade de metais consiste em

extraí-los do solo com uma solução química e correlacionar às concentrações obtidas no solo com a quantidade acumulada em diferentes partes das plantas.

Os extratores químicos irão definir o “elemento disponível”, ou seja, uma indicação parcial da quantidade que a planta poderá absorver e, portanto, deve apresentar uma estreita relação com a produção vegetal. O extrator químico tem sua eficiência avaliada pelo grau de correlação entre as concentrações obtidas no solo com as da planta (SIMONETE, 2001).

Um bom extrator deverá: ser relativamente simples e de baixo custo; ser calibrado sobre condições de campo em diferentes tipos de solos; considerar o maior número de fatores do ambiente que reconhecidamente influenciam as concentrações dos metais nas culturas e ser preditivo, ou seja, além de avaliar a disponibilidade atual dos metais, este deverá prever a disponibilidade ao longo do desenvolvimento da cultura. Selecionar um extrator que atenda a todos esses critérios nem sempre é possível (GONÇALVES Jr. et al., 2006). Além disso, segundo Oliveira e Mattiazzo (2001), em solos contaminados com metais pesados, principalmente quando a contaminação é devida à aplicação de resíduos orgânicos, como o lodo de esgoto, por exemplo, a possibilidade da absorção desses elementos pelas plantas não se comportar de maneira linear com as quantidades de metais aplicadas ou presentes nos solos é mais um fenômeno natural a ser simulado por um extrator artificial, sendo mais uma dificuldade.

Várias soluções extratoras têm sido testadas para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solo que receberam lodo de esgoto, principalmente daqueles que são nutrientes de plantas. Os extratores químicos que mais têm se destacado são as soluções de ácidos, as soluções de substâncias quelantes e suas combinações (OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001).

Segundo Anjos e Mattiazzo (2001), estudos de fitodisponibilidade em áreas que receberam biossólidos têm utilizado extratores ácidos, principalmente Mehlich-1 e Mehlich-3, soluções 0,05 e 0,1 mol L<sup>-1</sup> de HCl e HNO<sub>3</sub>, e que alguns autores têm obtido boas correlações para determinados metais adotando essas técnicas de extração.

As soluções de ácido forte, como Mehlich-1 e HCl 0,1mol L<sup>-1</sup>, podem extrair quantidades próximas do total, devido ao seu alto poder em dissolver, ainda que parcialmente, as estruturas que retêm metais pesados no solo, mas mesmo assim em algumas situações boas correlações podem ser obtidas (BARRETTO, 1995).

As soluções extratoras contendo agentes quelantes, como DTPA e EDTA, e a solução extratora que combina ácidos e quelantes, como Mehlich-3, também são usadas

para determinação de teores fitodisponíveis de metais pesados. O uso dessas soluções se justifica pelo fato dos agentes complexantes serem hábeis em deslocar metais ligados a radicais orgânicos e carbonatos, extraindo com facilidade as formas lábeis dos metais sem dissolver as não lábeis. PIRES et al., 2004, citam que o extrator DTPA foi proposto por Lindsay e Norwell em 1978, inicialmente, para estimar teores fitodisponíveis de micronutrientes em solos calcários e em solos com valores de pH próximos da neutralidade, também, mostrou-se eficiente em solos ácidos. Ainda segundo Pires et al. (2004), citando Abreu et al. (1995), a eficiência desse extrator é reduzida quando são considerados metais com maior potencial tóxico, como Cd, Cr, Ni e Pb.

Silva et al. (2006), citam que Mulchi et al. (1991) ao avaliarem os teores de metais pesados em solos de classes texturais distintas, verificaram efeito significativo de aplicações de doses crescentes de quatro tipos de lodo de esgoto nos teores de Zn, Cu, Fe, Pb, Ni e Cd extraídos pelas soluções de Mehlich-1, de Mehlich-3 e DTPA. Os teores totais de Zn, Cu, Ni e Cd em folhas de fumo correlacionaram-se, nesse estudo, com os teores no solo extraídos pelas três soluções extratoras, enquanto os teores de Mn correlacionaram-se apenas com o extrator Mehlich-1, e os teores de Fe e Pb não se correlacionaram com nenhum dos extratores testados.

Araújo e Nascimento (2005) ao avaliar a distribuição entre diferentes frações (troçável, matéria orgânica, óxido de ferro amorfo, óxido de ferro cristalino, residual) e a disponibilidade de Zn pelos extratores DTPA, EDTA, Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos incubados com lodo de esgoto e suas relações com a absorção de Zn por plantas de milho, utilizando dois tipos de solos (Argissolo e Latossolo) com diferentes características, encontraram que a maior recuperação de Zn das amostras foi obtida com os extratores ácidos (Mehlich-1 e Mehlich-3); no entanto, todos foram eficientes na predição da disponibilidade do elemento.

Borges e Coutinho (2004b) citam que Mulchi et al. (1991) encontraram coeficientes de correlação significativos entre os teores de Cd, Cu, Ni e Zn em plantas de tabaco e aqueles extraídos pelas soluções Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA de dois solos que receberam biossólido, no entanto, nenhum dos extratores foi eficiente na avaliação do Fe e do Pb.

Pires e Mattiazzo (2003), utilizando dois latossolos, um de textura argilosa e outro de textura arenosa, aos quais foram adicionados quatro biossólidos diferentes, avaliaram os teores de Cu e Zn do solo com os extratores químicos HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>,

Mehlich-3 e DTPA e o Cu e Zn absorvidos pela planta de arroz, encontrando elevados coeficientes de correlação entre eles.

Simonete e Kiehl (2002) determinaram em amostras superficiais de um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico incubadas com doses crescentes de biossólido e cultivadas com milho, os teores de Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Cd, Cr e Pb, extraídos por HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, Mehlich-3 e DTPA no solo e também na parte aérea do milho. Os autores encontraram correlações altamente significativas entre os teores de Zn e Cu extraídos pelos três extratores e os absorvidos pelo milho, enquanto que para o Mn os mais eficientes foram o HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e o Mehlich-3, para o Fe, destacaram-se o HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e o DTPA. Para o Ni e os demais metais estudados, os extratores se mostraram pouco eficientes para predição da fitodisponibilidade.

Oliveira e Mattiazzo (2001), utilizando um Latossolo Amarelo distrófico típico para estudar os efeitos de aplicações sucessivas de biossólido sobre o acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar e a fitodisponibilidade desses metais pelos extratores HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, Mehlich-3 e DTPA, encontraram eficiência apenas para o zinco na avaliação da fitodisponibilidade.

Anjos e Mattiazzo (2001) determinaram a eficiência dos extratores HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, Mehlich-3 e DTPA na determinação dos teores trocáveis e da água régia para os totais, na previsão da fitodisponibilidade de metais pesados presentes em dois latossolos tratados com biossólido e cultivados com milho em vasos com capacidade de 0,5 m<sup>3</sup> de terra. As correlações entre os teores de metais presentes nas várias partes da planta e teores de metais removidos pelos extratores estudados mostraram eficiência na previsão de biodisponibilidade de Cu e Zn apenas para o extrator Mehlich-3 nas plantas de milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. Da ideologia do progresso à idéia de desenvolvimento (rural) sustentável. In: **ALMEIDA, J.; NAVARRO, Z. Reconstruindo a agricultura - idéias ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 33 - 55.
- ALTIERI, M. A. **Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable**. 4ª ed. Montevideo, Uruguai. Editorial Nordan-Comunidad, 1999. 325 p.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable**. 1ª ed. México. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2000. 250 p.
- ANDRADE, C. A. Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono e qualidade da matéria orgânica de um Latossolo cultivado com eucalipto. Piracicaba, 2004. 121p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. Apresentação. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.); BONNET, B. R. P. (Coord.) **Manual de Métodos para Análise Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Curitiba, PR, 80p, 1998.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Gestão de biossólidos: situação e perspectivas. In: **I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul**, Curitiba, dez 1-4, 1998.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; GONÇALVES, D. F. Processo de implementação da reciclagem agrícola de biossólidos em Curitiba, Paraná. In **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental: ABES/AIDIS**. Porto Alegre, RS, 3 a 8 de dezembro de 2000.

- ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com bioossólido. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p. 769-776, out./dez. 2000.
- ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolos tratados com bioossólido e cultivados com milho. **Scientia Agricola**, v.58, n. 2, p. 337-344, abr./jun. 2001.
- ARAÚJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C. W. A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 29:977-985, 2005.
- ASSIS, R. L. de; AREZZO, D. C. de; DE-POLLI, H. Consumo de produtos da agricultura orgânica no Estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 84-89, 1995.
- AZEVEDO, R. A. B. de A sustentabilidade da agricultura e os conceitos de sustentabilidade estrutural e conjuntural. **Rev. Agr. Trop.** Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 9 – 42. 2002.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. de B. Propriedades químicas de um latossolo vermelho eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1501-1505, 2002.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Condutividade hidráulica saturada e não saturada de latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 28, p. 403-407, 2004.
- BARRETTO, M. C. de V. Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos. 1995. 106p. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.

- BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.
- BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. Efeito do Lodo de Esgoto na Comunidade Microbiana e Atributos Químicos do Solo. **Comunicado Técnico/Embrapa**. n. 24. 6 p. Dezembro, 2004, Jaguariúna, SP.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 28:543-555, 2004a.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 28:557-568, 2004b.
- CAMARGO, O. A. de; BETTIOL, W. Agricultura: opção animadora para utilização do lodo. **O Agrônomo**. Campinas, SP, v. 52 (2/3), 2000.
- CARVALHO, P. C. T. e CARVALHO, F. J. P. C. Legislação sobre Biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, 2002. Cap. 7, 209-226.
- CASTRO, L. A. R. DE, ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S., TAMANINI, C. R. e FERREIRA, A. C. Efeitos do lodo de esgoto como recuperados de áreas degradadas com finalidade agrícola. In: **V Simposio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas**. Anais... jun., 2002.
- CHAGAS, W. F. Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro. 1999. 89 p. Dissertação. Fundação Oswaldo Cruz.

- CHERUBINI, C.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Avaliação de parâmetros para desinfecção e secagem do lodo de esgoto através da temperatura. I **Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento**. Vitória, 2000.
- CONWAY, R. G. The properties of agroecosystems. **Agricultural Systems**, 24: 95 – 117. 1987.
- DAVID, A. C. Secagem térmica de lodos de esgoto, determinação da umidade de equilíbrio. 2002. 151 p. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- DESO. [www.deso-se.com.br](http://www.deso-se.com.br). Acesso em 13 junho de 2006.
- ERIKSEN, L.; ANDREASEN P.; ILSOE, B. Research note: Inactivation of *Ascaris Suum* eggs during storage in lime treated sewage sludge. **Water Res.** v. 30, n. 4, p. 1026-1029, 1995.
- GALDOS, M. V., DE MARIA, I. C. e CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, n. 3. maio/jun. 2004.
- GAVALDA, D.; SCHEINER J.D.; REVEL, J.C.; MERLINA, G.; KAEMMERER, M.; PINELLI, E.; GUIRESSE, M. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat-dried sludge on an Alfisol. **Science of the Total Environment**. v. 343, p. 97 – 109, 2005.
- GASPARD, P.; WIART, J.; SCHWARTZBROD, J. Parasitological Contamination of urban sludge used for agricultural purposes. **Waste Management & Research**, v.15, p. 429–436, 1997.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2 ed. Porto Alegre. Editora Universidade/UFRGS, 2001.

- GONÇALVES Jr., A. C.; PRESTES, A. L.; TRAUTMANN, R. R.; SANTOS, A. L.; ANDREOTTI, M. Avaliação de extratores e fitodisponibilidade de zinco para cultura do milho em Latossolo Vermelho eutroférico. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 1, p. 712, Jan./March, 2006.
- GUEDES, M. C. Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis*. 2005. 154 p. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- KIMBERLEY, M.O., WANG, H., WILKS, P. J. FISHER, C. R. e MAGESAN, G. N. Economic analysis of growth response from a pine plantation forest applied with biosolids. **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 345-351, 2004.
- KITAMURA, P. C. A agricultura e o desenvolvimento sustentável. **Agricultura Sustentável**, Jaguariúna, jan./dez., p. 27 – 32, 1994.
- LOPES, E. B. de M. Diversidade metabólica em solo tratado com biossólidos. 2001. 65p. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.
- LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M. dos; MEDRADO, M. J. S.; LIBARDI, P. L. Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teores solúveis e totais de elementos do solo sob sistema de produção de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) **Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo**, n. 38, p. 39-65, Jan./Jun. 1999.
- MACIEL, C. A. C. Química e absorção de zinco, cobre e níquel por braquiária (*Brachiaria Decumbens* Stapf) em solo tratado com biossólido. 2003. 87 p. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- MALTA, T. S. Aplicação de lodos de ETEs na agricultura: Estudo de caso Município de Rio das Ostras – RJ. 2001. 67p. Dissertação – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública.

- MARCIANO, C. R. Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho-amarelo. 1999. 93p. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.
- MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; TSUTIYA, M. T.; SOUZA, A. H. C. B. Desempenho de plantas de milho cultivadas em solos acrescidos de biossólido oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**: ABES/AIDIS. Porto Alegre, RS, 3 a 8 de dezembro de 2000.
- MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. Metais pesados e uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, Cap. 12, 365-403. 2002.
- MARTEN, G. G. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. **Agricultural Systems**, 26: 291 – 316. 1988.
- MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn E Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 27:563-574, 2003.
- MARTINS, S. C. Adsorção e dessorção de cobre em solos sob aplicação de lodo de esgoto e calda bordalesa. 2005. 99p. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.

- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.581-593, jul./set. 2001.
- MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Impacto dos Biossólidos sobre o Solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, 2002. Cap. 9, 243-271.
- MELO, W. J., MARQUES, M. O. e MELO, V. P. O Uso Agrícola do Biossólido e as Propriedades do Solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, 2002. Cap. 11, 289-359.
- MELO, W. J., TSUTIYA, M. T., MARQUES, M. O. e SOUZA, A. C. B. Nível de fertilidade em solos tratados com biossólido oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo, e cultivados com milho. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2000.
- MENDONÇA, L. C. Desidratação térmica e desinfecção química com cal de lodo de reator anaeróbio de manta de lodo (uasb) tratando esgotos sanitários. 1999. 130 p. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.
- MOLINA, M. V. Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinqüenta e cinco meses após a aplicação de biossólido. 2004. 66 p. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.

- NASCIMENTO, C. W. A., BARROS, D.A. S., MELO, E. E. C. e OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28: 385-392, maio/jun. 2004.
- OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do A.; MARQUES, V. dos S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 29: 109-116, 2005.
- PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; HAANDEL, A. C. van; GOUVEIA, J. P.G. de; LEITE, J. C. A. Doses crescentes de biossólidos e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v 5, n. 2 - 2º Semestre 2005.
- PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, M. L. de P.; FERREIRA, A. Qualidade do Lodo de esgoto utilizado na Reciclagem Agrícola na Região Metropolitana de Curitiba – Pr. I SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS. Anais... São Paulo, jun., 2003.
- PIGOZZO, A. T. J. Disposição de lodo de esgoto: acúmulo de metais pesados no solo e em plantas de milho (*Zea mays L.*). 2003. 200 p. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, São Paulo.
- PIGOZZO, A. T. J.; GOBBI, M. A.; SCAPIM, C. A.; LENZI, E.; LUCAS JUNIOR, J. de; BREDA, C. C. Disponibilidade de metais de transição no solo tratado com lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 26, n. 4, p. 443-451, 2004.
- PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Biosolids conditioning and the availability of Cu and Zn for rice. **Scientia Agricola**, v.60, n.1, p. 161-166, Jan./Mar. 2003.

- PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E.; BERTON, R. S. Ácidos orgânicos como extratores de metais pesados fitodisponíveis em solos tratados com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.671-676, jul. 2004.
- QIAO, X. L., LUO, Y. M., CHRISTIE, P. e WONG, M. H. Chemical speciation and extractability of Zn, Cu and Cd in two contrasting biosolids-amended clay soils. *Chemosphere*, v. 50, 823-829, 2003.
- RANGEL, O. J. P. Disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo cultivado com milho após a aplicação de lodo de esgoto. 2003. 88 p. Dissertação (Mestrado), Lavras: Universidade Federal de Lavras.
- REIS, T. C. Distribuição e Biodisponibilidade de Níquel Aplicado ao Solo como NiCl<sub>2</sub> e Biossólido. 2002. 105 p. Tese de Doutorado, ESALQ, USP.
- REZENDE, C. I. de O. Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serapilheira e no solo de um talhão de *E. grandis*. 2005. 81 p. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.
- ROCHA, R. E. M.; PIMENTEL, M. S.; ZAGO, V. C. P.; RUMJANEK, N. G.; DE-POLLI, H. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1435-1441, dez. 2003.
- ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 28, p. 623-639, 2004.
- SANTOS, A. D. dos. Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo. 2003. 265 p. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- SCANCAR, J.; MILACIC, R.; STRAZAR, M.; BURICA, O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr,Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. **The Science of the Total Environment**. v. 250, p. 9 -19, 2000.
- SILVA, F. C. DA, BOARETTO, A. E., BERTON, R. S., ZOTELLI, H. B., PEXE, C. A. e BERNARDES, E. M.. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argilossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio 2001.
- SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, J. F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 30:353-364, 2006.
- SILVEIRA, M. L. A. Extração seqüencial e especiação iônica de zinco, cobre e cádmio em latossolos tratados com biossólidos. 2002. 166p. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, SP.
- SILVÉRIO, L. Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais. **O Agrônomo**, Campinas, 56 (1), 2004.
- SIMONETE, M. A. e KIEHL, J. de C. Extração e Fitodisponibilidade de Metais em Resposta à Adição de Lodo de Esgoto no Solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p555-563, jul./set. 2002. Parte da Tese de Doutorado apresentada à USP/ESALQ.
- SIMONETE, M. A. Alterações nas propriedades químicas de um argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho. 2001. 89 p. Tese de doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.
- STENGER, A. Experimental Valuation of food safety Application to sewage sludge. **Food Policy**. v. 25, France, 2000.

- TRANNIN, I. C. de B. ; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. de S. Avaliação agronômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, mar. 2005.
- TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**. N. 64, p. 150-162, dez. 2003.
- TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, Cap. 4, 89-131. 2002a.
- TSUTIYA, M. T. Alternativas de Disposição Final de Biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, Cap. 5, 133-178. 2002b.
- TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 69-105.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Under 40 CFR Part 503 USEPA, 1992.
- VANZO, J. E., MACEDO, L. S. e TSUTIYA, M. T. ETE Franca: uma estação que além de tratar os esgotos, produz insumos agrícolas. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2000.
- VANZO, J. E., MACEDO, L. S. e TSUTIYA, M. T. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A.

J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2<sup>a</sup> ed., São Paulo, SP: ABES/SP, Cap. 8, 227-242. 2002.

## **CAPÍTULO II - EFEITO DE BIOSSÓLIDOS EM ARGISSOLO ACINZENTADO DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DE SERGIPE**

### **RESUMO**

VIANA, C. L. B. Efeito de bioossólidos em ARGISSOLO ACINZENTADO dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Sergipe. In: **Potencialidade do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto de Sistema de Valo de Oxidação em Sergipe**. São Cristóvão: UFS, 2006. 105p. (Dissertação) Mestrado em Agroecossistemas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de dois bioossólidos, pasteurizado e caleado, nos atributos químicos de um Argissolo Acinzentado, representativo de paisagens dos tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe. Avaliou-se a presença dos principais elementos químicos de interesse agrícola e de metais pesados no solo e em tecido vegetal. A planta indicadora para produção de matéria seca foi o milho (*Zea mays*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições. Ao solo, contido em vasos plásticos de 3 L, foram adicionadas as doses de bioossólidos equivalentes a 0; 9; 18; 27 e 36 Mg ha<sup>-1</sup> (base seca). Os bioossólidos foram incubados ao solo a uma umidade equivalente a 90% da capacidade de campo, durante trinta dias. Após a incubação, retiraram-se amostras de solo para análise e foram cultivadas quatro plantas por vaso, durante trinta dias. A aplicação do bioossólido pasteurizado diminuiu o pH e elevou os teores de Al, H+Al, Ca, Mg, Na, P e matéria orgânica do solo. A aplicação do bioossólido caleado diminuiu os teores do Al e H+Al e provocou aumento no valor de pH e nos teores de Ca, Mg, Na, P e matéria orgânica. Com relação à produção de matéria seca de milho, ocorreu aumento estatisticamente significativo (5%) apenas com a aplicação do bioossólido pasteurizado. A solução extratora DTPA foi eficiente na predição da fitodisponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn para doses crescentes do bioossólido pasteurizado e eficiente para Cu, Pb e Zn, para doses crescentes do bioossólido caleado. Os teores dos metais pesados Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn extraídos por DTPA, para os dois bioossólidos estudados, não se encontraram em níveis fitotóxicos.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, bioossólido caleado, bioossólido pasteurizado, uso agrícola, DTPA, fitotoxicidade.

## ABSTRACT

VIANA, C. L. B. Effect of biosolids on an Ultisol from coastal tablelands of Sergipe state, Brazil. In: **Potentiality of the agricultural use of sewage sludge of system of oxidation ditch in Sergipe**. São Cristóvão: UFS, 2006. 105p. (Thesis, M.Sc. in Agroecosystems).

The objective of this work was to evaluate the effects of two pretreated biosolids (pasteurized and lime-treated), on the chemical properties of an Greyish Pozolic soil (Ultisol) of coastal tablelands of Sergipe state, Brazil. It was evaluated the presence of chemical elements such as nutrients and heavy metals in samples of soil and plant tissue. Plants of corn (*Zea mays*) were used to evaluate dry matter production.. The experiment was carried out in a greenhouse using a completely randomized design and ten replications. Five doses of biosolids 0; 9; 18; 27 and 36 Mg ha<sup>-1</sup> (dry-basis) were added to the soil contained in plastic pots of 3 L. The mixture was incubated during thirty days at a moisture content equivalent to 90% of the soil field capacity. After incubation, the soil was sampled for analysis and four plants were cultivated in each pot during thirty days. The pasteurized biosolid decreased the pH and increased the concentration of Al, H+Al, Ca, Mg, Na, P and organic matter. The lime-treated biosolid decreased the Al and H+Al concentration and increased the pH and the concentration of Ca, Mg, Na, P and organic matter. Production of dry mass was significantly (5%) increased only pasteurized biosolid. The extractant solution DTPA was efficient in the prediction of Cu, Fe, Mn and Zn bioavailability for pasteurized biosolid and of Cu, Pb and Zn, for lime-treated biosolid. The concentration of heavy metals Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn for both studied biosolids were not at phytotoxic level.

Key words: Sewage sludge, pasteurized biosolid, lime-treated biosolids, agricultural use, DTPA, phytotoxicity.

## 1. INTRODUÇÃO

A disposição de esgotos em corpos de água, sem tratamento prévio, apresenta-se como um dos maiores problemas ambientais a ser enfrentado nesse início de século, uma vez que o destino inadequado do esgoto produzido pela sociedade moderna tem resultado na degradação acelerada das reservas de água existentes no Brasil e no mundo. De acordo com Pegorini (2003), aproximadamente 40% da população brasileira dispõem de coleta de esgoto, e apenas cerca de 10% do esgoto coletado sofre algum processo de tratamento.

O sistema de tratamento de águas servidas, procurando devolver aos mananciais hídricos uma água com carga poluidora baixa, gera, em suas estações de tratamento, um resíduo denominado lodo de esgoto (GALDOS et al., 2004). O crescimento populacional leva a uma produção também crescente e insustentável desse resíduo, que se constitui num problema ambiental.

Esta questão tem abrangência ambiental, sanitária e econômica. O destino destes resíduos em rios, lagos, oceano e aterros acarretam em riscos ao meio ambiente e à população, além de gastos financeiros acentuados com transporte e estocagem dos resíduos em aterros sanitários, diminuindo a vida útil destes quando são utilizadas grandes quantidades (ROCHA et al., 2004). Na incineração têm-se custos elevados com equipamentos para evitar a emissão de gases poluentes para a atmosfera, além da geração de cinzas que necessitam, também, de um destino adequado (MENDONÇA, 1999; QIAO et al., 2003; PEDROZA et al., 2005).

O lodo de esgoto - resíduo, produzido nas ETEs, composto por matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes (SIMONETE, 2001; BARBOSA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2005), quando destinado à utilização na agricultura de forma segura e benéfica, após sofrer tratamento adequado é denominado de biossólido (TSUTIYA, 2002). A reciclagem agrícola do biossólido é considerada hoje como a alternativa mais promissora de disposição final deste resíduo, por ser sustentável (ROCHA et al., 2004) e seu efeito pode ser potencializado quando se alia à utilização agrícola a recuperação de áreas degradadas e o uso em sistemas florestais.

O biossólido, além de conter considerável percentual de matéria orgânica, possui elementos essenciais às plantas, podendo substituir total ou parcialmente os fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2004; TRANNIN et al., 2005). De uma maneira geral,

este resíduo é um produto que altera de forma positiva as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BETTIOL e FERNANDES, 2004).

A utilização agrícola de biossólidos tem sido recomendada por proporcionar benefícios agrônômicos. Com relação às modificações das propriedades químicas do solo após aplicação do lodo, a acidez efetiva (pH), a acidez potencial (H+Al) e a acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) são parâmetros que podem sofrer acréscimos ou decréscimos a depender do tratamento que o lodo recebeu na ETE, com o objetivo de higienizá-lo (MELO et al., 2000; REIS, 2002; MARTINS et al., 2003; BETTIOL e FERNANDES, 2004; NASCIMENTO et al., 2004; PIGOZZO et al., 2004; TRANNIN et al., 2005). De tal forma, que o biossólido alcalino, oriundo da caleação do lodo de esgoto, promove a diminuição de todas as formas de acidez do solo, enquanto o biossólido oriundo da pasteurização pode promover a elevação desses parâmetros. Por outro lado, o acréscimo do lodo ao solo permite, também, o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e da disponibilidade de macro e micronutrientes, melhorando a sua capacidade de fornecer nutrientes às plantas (GUEDES, 2005).

Como o lodo de esgoto produzido nas ETEs pode introduzir no solo potenciais poluentes como metais pesados não essenciais ou essenciais em altas doses (PASCUAL et al., 2004), faz-se necessário conhecer a contaminação, em termos dos efeitos sobre as plantas e a cadeia alimentar, através da determinação das concentrações fitodisponíveis desses metais. A solução extratora DTPA apesar de ter sido desenvolvido para estimar teores fitodisponíveis dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn em solos calcários e em solos com valores de pH próximos da neutralidade, mostrou-se também eficiente em solos ácidos (PIRES et al., 2004) e vários trabalhos, com lodo de esgoto adicionado ao solo, utilizaram esta extratora para avaliar a fitodisponibilidade dos referidos metais essenciais e não essenciais (OLIVEIRA e MATTIAZZO, 2001; PIRES e MATTIAZZO, 2003; ARAÚJO e NASCIMENTO, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de dois biossólidos, um proveniente de processo de pasteurização e outro da estabilização química com cal extinta, nas propriedades químicas de um **ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã**, na produção de matéria seca e no acúmulo e fitodisponibilidade de metais pesados, utilizando como planta indicadora o milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto proveniente sistema de valo de oxidação com aeração prolongada, sem estabilização com cal, utilizado neste trabalho foi da Estação de Tratamento de Esgoto do Orlando Dantas pertencente à Companhia de Saneamento de Sergipe - DESO. O sistema de tratamento dos esgotos é constituído de: tratamento primário (gradeamento e caixa de areia), valo de oxidação, quatro decantadores e dezoito leitos de secagem (Figura 2.1). A produção mensal desta ETE é de aproximadamente 30 m<sup>3</sup> de lodo.



Figura 2.1. Estação de Tratamento de Esgotos do Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas.

A coleta do lodo de esgoto consistiu em retirar amostras simples do topo, meio e base de quatro pilhas de lodo, após passar pelo leito de secagem, formando uma amostra composta de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1985). Após homogeneização, foram retiradas alíquotas do lodo *in natura* para análise microbiológica e determinação do pH e da umidade. O lodo de esgoto restante foi separado em duas partes que passaram por dois processos de higienização.

Para análise microbiológica, a amostra foi transportada, sob refrigeração em uma caixa de isopor contendo gelo, para o Laboratório de Microbiologia Aplicada (LMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), no qual se procedeu a determinação de coliformes totais e fecais através da técnica de tubos múltiplos, segundo o manual de métodos para análise microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto (SANEPAR, 1998). Os resultados encontram-se na tabela 2.1.

O pH e a umidade a 65°C (Tabela 2.1.) foram determinados no Laboratório de Química Analítica Ambiental (LQA) da UFS também segundo SANEPAR (1998).

Tabela 2.1. Determinação microbiológica, da umidade e pH do lodo *in natura*.

Amostra	Coliformes		Umidade %	pH (em água)
	Coliformes Totais NMP*/g de sólidos totais	Fecais		
Lodo <i>in natura</i>	$1,1 \times 10^7$	$5,5 \times 10^6$	70	5,2

\* número mais provável.

## 2.2. Biossólidos

### 2.2.1. Biossólido caleado

A redução de patógenos ou higienização do lodo através da estabilização química, com a adição de cal extinta (caleagem), foi realizada conforme a recomendação da USEPA (1992). Previamente foram realizados testes com percentuais de 30; 40 e 50% de cal extinta (Tabela 2.2) com o objetivo de elevar o pH do lodo acima de 12, para inativação dos patógenos.

Tabela 2.2. Valores de pH a diferentes percentuais de cal extinta a 30% de sólidos totais de lodo.

% de Cal extinta	pH
30	11,25
40	11,80
50	12,50

Após os testes preliminares, a caleagem (Figura 2.2) foi realizada utilizando-se a cal extinta a 50% de peso seco do lodo a 30% de sólidos totais (TELES et al., 1999). Em seguida, o biossólido caleado (BC) foi distribuído na bancada para secar ao ar livre por dois dias.



Figura 2.2. Adição de cal extinta ao lodo de esgoto.

### **2.2.2. Biossólido pasteurizado**

A redução de patógenos do lodo *in natura* na obtenção do biossólido pasteurizado (BP) se deu através do processo de pasteurização a 70°C por no mínimo 30 minutos em estufa com circulação forçada de ar (Figura 2.3), conforme recomendado pela USEPA (CARVALHO e CARVALHO, 2002).



Figura 2.3. Lodo de esgoto na estufa para pasteurização.

### **2.2.3. Caracterização físico-química e microbiológica dos biossólidos**

Após os dois processos de higienização, os biossólidos foram cominuídos em um moinho de bolas e passados em peneira de abertura de malha 2 mm e, em seguida, foram retiradas alíquotas para determinação do pH, umidade, análise microbiológica (SANEPAR, 1998) e caracterização química, as quais estão apresentadas na tabela 2.3.

A caracterização química ocorreu após digestão total de aproximadamente 0,4 g da amostra em mistura ácida de 8mL de  $\text{HNO}_3$  65% (v/v), 5mL de  $\text{HCl}$  32% (v/v) e 2mL de  $\text{HF}$  48% (v/v) em forno de microondas de cavidade fechada do laboratório de instrumentação analítica da Petrobras, conforme método proposto pelo manual do forno de microondas modelo ETHUS PLUS T-800 da Milestone para amostras ambientais (MILESTONE, 1996). Após a digestão total, foram determinados os elementos Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na e Zn em Espectrômetro de Absorção Atômica no módulo chama, marca Shimadzu e modelo AA6800, do LQA e no módulo forno de grafite os elementos Cd e Pb. O teor de P foi determinado espectrofotometricamente com amarelo-de-

vanadato em um espectrofotômetro de absorção molecular de marca Femto e modelo 700 plus na região de 420 nm.

Os teores de N-Kjeldahl, N-amoniacal e N-nitrito-nitrato foram determinados conforme Nogueira et al. (2005) no Laboratório de Nutrição Animal (LNA) da Embrapa Tabuleiros Costeiros.

O carbono total foi determinado no LQA no Analisador Elementar CHNS-O da Thermo Finnigan, modelo FLASH EA 1112 series.

Tabela 2.3. Características físico-químicas e microbiológicas dos bio sólidos pasteurizados (BP) e calcado (BC).

Parâmetro	BP	BC
Coliformes fecais (NMP g <sup>-1</sup> )	0	0
pH em água	5,3	8,9
C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	241,54	145,41
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	17,88	81,70
K (g kg <sup>-1</sup> )	0,70	0,53
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	2,84	28,16
Na (g kg <sup>-1</sup> )	0,07	0,19
N – Kjeldahl (g kg <sup>-1</sup> )	26,22	11,44
N – amoniacal (g kg <sup>-1</sup> )	1,22	0,25
N – nitrito-nitrato (g kg <sup>-1</sup> )	0,67	0,11
N – nitrato (g kg <sup>-1</sup> )	0,03	0,01
P (g kg <sup>-1</sup> )	7,15	3,61
Umidade 65 °C (%)	12,91	7,30
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0,60	0,34
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	114,18	55,07
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	11470,48	5467,44
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	132,85	96,03
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	19,44	11,51
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	305,49	209,25

### 2.3. Características do Solo

Foram coletadas vinte sub-amostras, ao acaso, dos primeiros 20 cm de profundidade de um **ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã** do Campo Experimental de Umbaúba da Embrapa Tabuleiros Costeiros para formar uma amostra composta (Figura 2.4). O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de náilon de abertura de malha de 4 mm. Retirou-se uma alíquota que foi passada em peneira de abertura de malha 2 mm para a obtenção de terra fina seca ao ar TFSA para condução das análises físico-químicas. A análise de fertilidade desse solo foi feita de acordo com Nogueira et al. (2005). A caracterização física do solo, densidade e

composição granulométrica pelo método do densímetro, foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Tabuleiros Costeiros (CLAESSEN, 1997). As características físicas e químicas do ARGISSOLO ACINZENTADO são apresentadas na Tabela 2.4

Tabela 2.4. Características físicas e químicas do ARGISSOLO ACINZENTADO.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Desidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,30
Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	141,1
Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	61,1
Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	797,8
pH em água	5,95
Matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ )	6,20
N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,93
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	11,00
Na ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,17
K ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	3,00
Ca ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	12,14
Mg $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	3,38
Al ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,00
H+Al ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	26,10

Para a determinação dos teores extraíveis dos metais pesados Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn, as amostras do solo de cada tratamento foram previamente secas ao ar e passadas em peneira de abertura de malha 2 mm. A extração dos metais foi realizada com a solução DTPA a pH 7,3 (NOGUEIRA et al., 2005) da seguinte maneira: extração de 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) com 20 mL da solução DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético)  $0,005 \text{ mol L}^{-1}$  + TEA (trietanolamina)  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{CaCl}_2$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  pH 7,3, sob agitação (120 rpm), durante duas horas. Após a etapa de extração, as determinações analíticas dos metais nos extratos obtidos do solo foram realizadas, para os elementos Cu, Fe, Mn e Zn em Espectrômetro de Absorção Atômica no módulo chama, marca Shimadzu e modelo AA6800, do LQA e no módulo forno de grafite para os elementos Cd e Pb, pois os mesmos apresentavam-se em níveis de ultra-traços.



Figura 2.4. Coleta do solo no Campo Experimental de Umbaúba da Embrapa Tabuleiros Costeiros.

#### 2.4. Experimento

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, constituído de cinco tratamentos equivalentes a 0; 9; 18; 27 e 36 Mg ha<sup>-1</sup> do BP e do BC em base seca, com dez repetições, totalizando 100 parcelas.

A dose 9 Mg ha<sup>-1</sup> foi calculada considerando-se a quantidade de N normalmente requerida para a cultura do milho, ou seja, 60 kg ha<sup>-1</sup>, segundo o Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia (CEFS, 1989). A menor dose a ser aplicada e o teor de nitrogênio disponível nos biossólidos, considerando que a taxa de mineralização do N foi de 20% (MELO et al., 2002), foram determinados da seguinte maneira:

$$DB \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{N \text{ - recomendado (kg ha}^{-1}\text{)}}{N \text{ - disponível (kg t}^{-1}\text{)}}$$

Onde:

DB = menor dose de biossólido aplicada;

N – recomendado = dose de N recomendado para a cultura do milho;

N – disponível = N potencialmente disponível para a cultura do milho.

$$\text{N- disponível (kg t}^{-1}\text{)} = \left[ \frac{\text{FM}}{100} (\text{N}_k - \text{N}_{\text{NH}_3}) \right] + 0,5\text{N}_{\text{NH}_3} + (\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2})$$

Em que:

FM = fração de mineralização do N contido no bio sólido em %;

$\text{N}_k$  = N contido no bio sólido, determinado pelo método Kjeldahl em  $\text{mg kg}^{-1}$ ;

$\text{N}_{\text{NH}_3}$  = N amoniacal em  $\text{mg kg}^{-1}$ ;

$(\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2})$  = N na forma de nitrato e nitrito em  $\text{mg kg}^{-1}$ .

A unidade experimental foi constituída de vaso plástico de 3L de capacidade, sem perfuração na parte inferior para evitar lixiviação de elementos, contendo 2,6 kg de solo e as quantidades correspondentes a 0; 1; 2; 3 e 4 vezes da menor dose de BP calculada.

No entanto, para BC o teor de Ca foi considerado na determinação da menor dose ( $24 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), pois altos teores deste elemento poderiam causar desequilíbrios nutricionais. Desta forma, tomamos a decisão de adicionar as mesmas doses do BP.

Os sistemas solo-bio sólido foram colocados a 90% da capacidade de campo (Figura 2.5) durante um período de incubação de trinta dias. A capacidade de campo foi determinada pelo método do extrator de Richards (CLAESSEN, 1997). Após o período de incubação, retiraram-se amostras de cada vaso que foram secas ao ar e passadas em peneira de malha 2 mm para a determinação da fertilidade (pH, M.O., P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na), segundo Nogueira et al. (2005). Em seguida foi realizada a semeadura (Figura 2.6) de dez sementes de milho híbrido BRS 3150 (*Zea mays* L.) por vaso, e aos cinco dias após a germinação foi realizado o desbaste, deixando apenas quatro plantas por vaso e o monitoramento das quantidades de água ultra-pura foi realizado através de pesagens diárias (Figura 2.7). Semanalmente, os vasos eram mudados de posição, de forma inteiramente casual, com o objetivo de minimizar o efeito das variações ambientais.



Figura 2.5. Adição de água para colocar o sistemas solo-biossólido a 90% da capacidade de campo.



Figura 2.6. Semeadura de dez sementes milho híbrido BRS 3150.



Figura 2.7. Monitoramento e pesagens diárias.

Foi utilizado um tratamento adicional com adubação mineral NPK e Zn para comparação com a produção da matéria seca proporcionada pelas doses de biossólido, ao qual foram adicionados por vaso 281,67 mg de superfosfato simples; 29,14 mg de cloreto de potássio; 115,22 mg de uréia, diluída em água e 14,85 mg de sulfato de zinco.

Aproximadamente quinze dias após a germinação, as plantas apresentaram sintomas visuais de deficiência de fósforo e de nitrogênio em todos os tratamentos. Assim, aplicou-se em cobertura 375,56 mg de superfosfato simples por vasos nos tratamentos que receberam as doses de biossólido e nas testemunhas e 93,89 mg nos vasos que receberam a adubação NPK convencional. Para a adubação nitrogenada foram aplicados 230,44 mg de uréia diluída em todos os tratamentos e 115,22 mg de uréia para os vasos que receberam adubação mineral.

A colheita da parte aérea foi realizada trinta dias após a emergência. As plantas foram cortadas rente ao solo e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. O material vegetal, após secar, foi pesado para determinação da produção de matéria seca, em seguida foi moído e armazenado para posterior análise. O material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica segundo Nogueira et al. (2005). Nos extratos obtidos foram determinados os teores dos

elementos Cu, Fe, Mn e Zn em Espectrômetro de Absorção Atômica no módulo chama, marca Shimadzu e modelo AA6800, do LQA e no módulo forno de grafite para o elemento Pb, pois encontrava-se em níveis de ultra-traços (NOGUEIRA et al., 2005).

Os resultados das análises estatísticas do solo e da produção de matéria seca das plantas foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas utilizando o Teste de Comparações de Médias (Tukey) a 5% de significância (Tabelas A1 a A4). O efeito das doses dos biossólidos foi avaliado por regressão polinomial. O programa estatístico utilizado para análise dos dados foi o SISVAR (FERREIRA, 2003).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os biossólidos obtidos pela pasteurização e pela caleação apresentaram, conforme tabela 2.5, valores de metais pesados abaixo do limite estabelecido na legislação internacional e na norma da CETESB, podendo, então, afirmar que o lodo de esgoto estudado é de origem doméstica e, portanto, sem restrições para o uso nos agroecossistemas, desde que seja submetido a tratamentos de higienização adequados. Esses baixos níveis de metais pesados encontrados eram esperados, uma vez que o mesmo é proveniente de um tratamento de esgoto de área residencial, o Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas.

Tabela 2.5. Os teores de metais pesados encontrados nos biossólidos e os valores limites permitidos para aplicação de lodo de esgoto na agricultura ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

<b>Elemento</b>	<b>BP</b>	<b>BC</b>	<b>Dinamarca (1)</b>	<b>Suíça (1)</b>	<b>Holanda (1)</b>	<b>França (2)</b>	<b>USEPA (3) CETESB (4)</b>
Arsênio	-	-	-	-	-	-	75
Cádmio	0,60	0,34	0,8	30	10	10	85
Cromo	-	-	100	1.000	500	1.000	3.000
Cobre	114,18	55,07	1.000	1.000	600	1.000	4.300
Chumbo	19,44	11,51	120	1.000	500	800	840
Mercúrio	-	-	0,8	10	-	-	57
Molibdênio	-	-	-	-	-	-	75
Níquel	-	-	30	200	100	200	420
Selênio	-	-	-	-	-	-	100
Zinco	305,49	209,15	4.000	3.000	2.000	-	7.500
Prata	-	-	-	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	100	-	-	-
Manganês	132,85	96,03	-	500	-	-	-

(-) valor não determinado.

Fonte: (1) RANGEL (2003); (2) GAVALDA et al. (2005); (3) USEPA (1992); (4) CARVALHO e CARVALHO (2002).

### 3.1. Efeitos dos Biossólidos nas Propriedades Químicas do ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã após Trinta Dias de Incubação

#### 3.1.1. Influência na acidez ativa (pH), acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) e acidez trocável ( $Al^{3+}$ )

Os biossólidos provocaram efeitos significativos e inversos nas três formas de acidez do solo em estudo: as doses crescentes de BP diminuíram de forma polinomial o pH do solo, da mesma forma aumentaram os teores de  $H^+ + Al^{3+}$  e linearmente os teores de  $Al^{3+}$ , com conseqüente aumento do índice de saturação por alumínio (m). Por outro lado, o BC provocou, também, aumento polinomial no pH, decréscimos lineares nos teores de  $H^+ + Al^{3+}$  e uma diminuição de  $Al^{3+}$  para zero, cujos valores médios não apresentaram diferenças significativas, o que também aconteceu com o índice m a  $P \leq 5\%$  (Figuras 2.8 a 2.11). Estes efeitos eram esperados, uma vez que o BP é um biossólido ácido (pH 5,3) e o BC de um biossólido alcalino (pH 8,9).

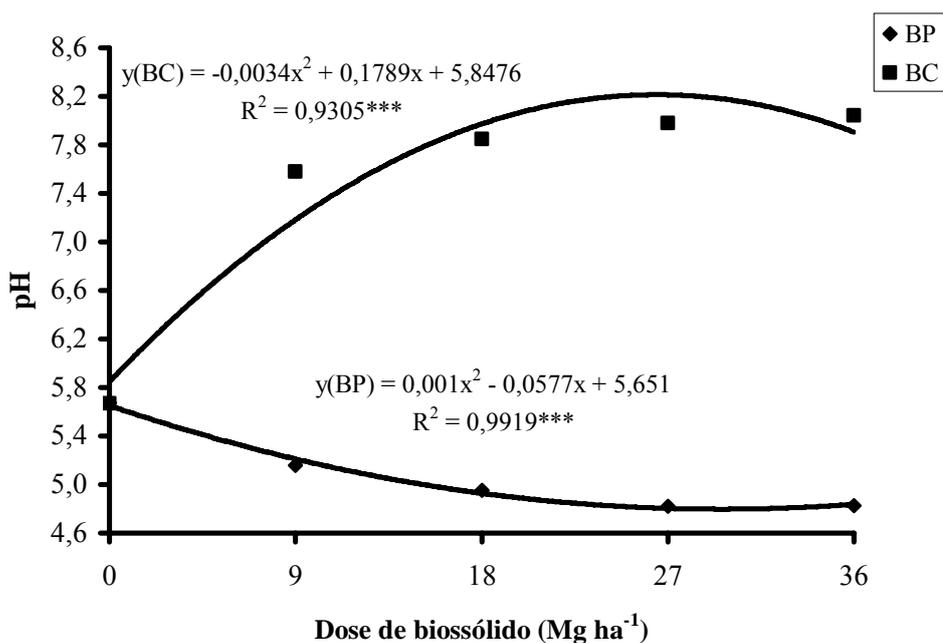


Figura 2.8. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC na acidez ativa (pH) do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

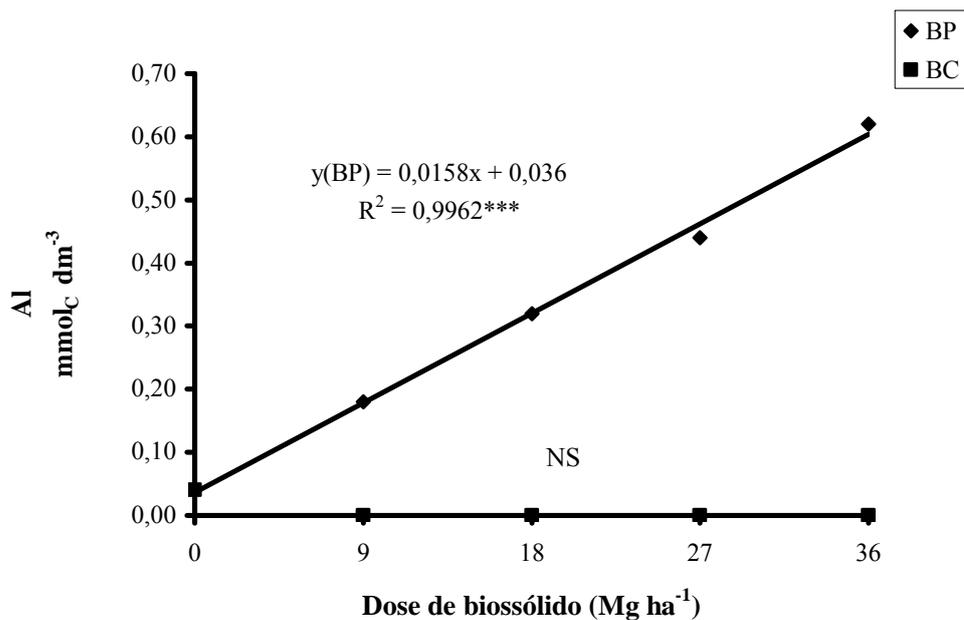


Figura 2.9. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC na acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância e NS não significativos a  $P \leq 5\%$ ).

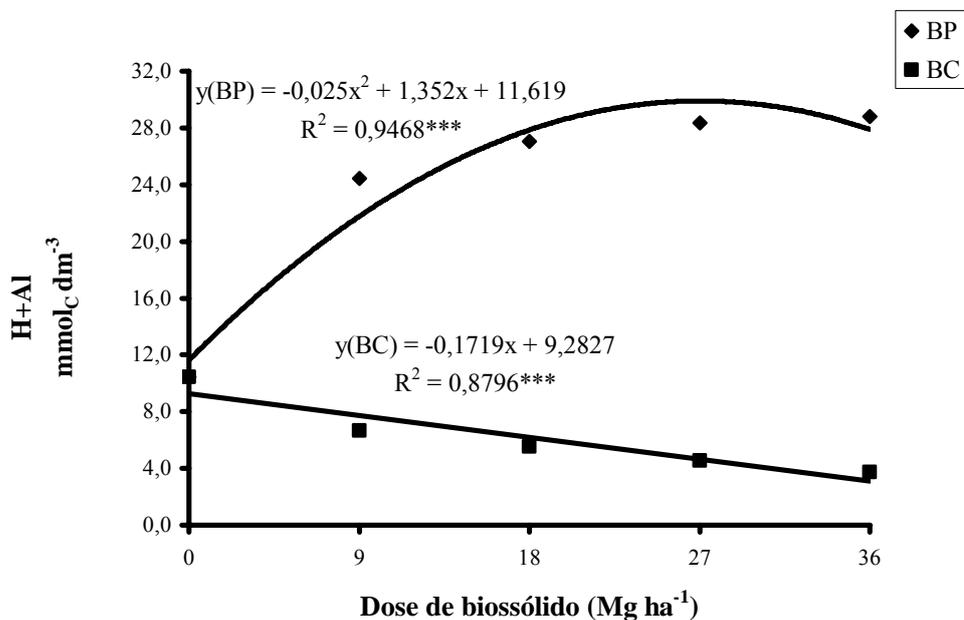


Figura 2.10. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC na acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

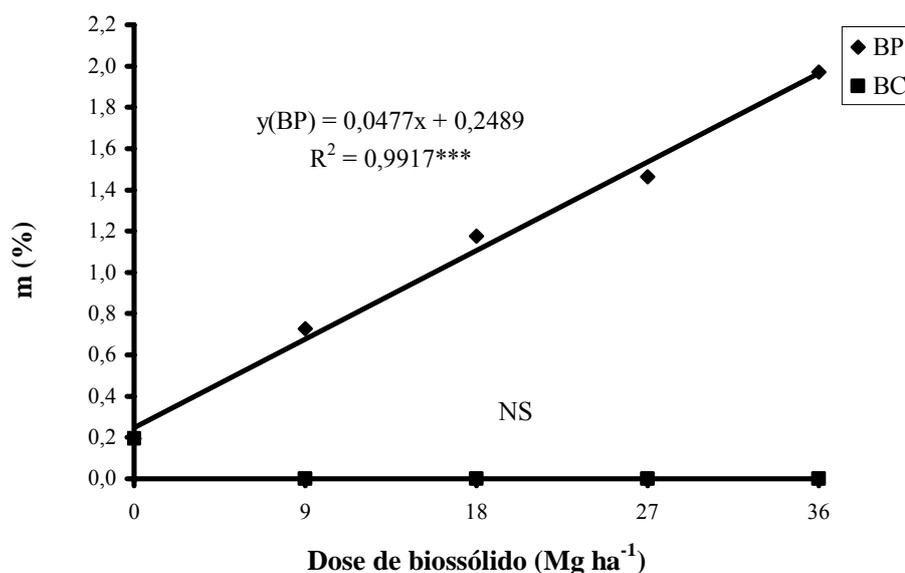


Figura 2.11. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC no índice de saturação por  $Al^+$  trocável do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância e NS não significativos a  $P \leq 5\%$ ).

Nascimento et al. (2004), estudando as alterações químicas em solos e crescimento de milho e de feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto, observaram que a aplicação de doses crescentes de lodo promoveu decréscimo no pH. A diminuição do pH neste estudo ocorreu porque o lodo usado não sofreu em seu tratamento estabilização com cal virgem.

Araújo e Nascimento (2005), ao avaliar a distribuição entre diferentes frações e a disponibilidade de Zn em solos incubados com lodo de esgoto utilizando plantas de milho em dois tipos de solos, com diferentes características, verificaram que as doses de lodo provocaram decréscimo no pH das amostras do Argissolo em relação à testemunha, enquanto, no Latossolo, originalmente mais ácido, esta alteração não foi significativa. Os autores justificam que estes resultados são decorrentes da utilização de lodo de esgoto não calado, portanto ácido e acrescentam, ainda, que a correção deste material poderia resultar, em maior segurança para aplicação do lodo de esgoto no que diz respeito à redução de patógenos e disponibilidade de metais pesados.

Ao estudar adição de lodo de esgoto, que não recebeu tratamento para higienizar ou facilitar a desidratação - calagem, até a dose máxima de  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$ , Simonete et al. (2003) verificaram que o pH do solo reduziu de forma quadrática e explicam que a acidificação pode estar associada às reações de nitrificação do N amoniacal, à provável

oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos.

Pigozzo et al. (2004), Bettioli e Fernandes (2004) e Trannin et al. (2005) também obtiveram resultados em que ocorreu a diminuição do pH com a utilização do lodo de esgoto. Ainda Simonete et al. (2003) acrescentaram que o aumento da acidez proporcionou incremento dos teores de alumínio trocável e, conseqüentemente, elevação dos valores da acidez potencial e do índice de saturação por alumínio.

No entanto, Barbosa et al. (2002) estudando as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto observaram, em relação ao pH, que houve aumento em todos os tratamentos com lodo de esgoto, em comparação com a análise inicial do solo; que o lodo agiu como corretivo de acidez do solo e, também, reduziu o teor de alumínio trocável. Os autores justificam que esse aumento do pH poderia estar diretamente relacionado com a quantidade de cal adicionada ao solo, uma vez que o lodo utilizado foi digerido anaerobicamente e tratado com cálcio dolomítico na concentração de 50% do peso seco de lodo.

Aumento no pH do solo também foi verificado por Melo et al. (2000), ao aplicar biossólido por dois anos consecutivos a dois diferentes solos, ao mesmo tempo em que causou diminuição na acidez potencial. Mas, o comportamento com relação ao pH foi diferente em função do tipo de solo: no latossolo roxo, a tendência de aumento foi linear em função de dose de biossólido nos dois anos agrícolas, e no latossolo vermelho-escuro, textura média, o aumento no pH somente foi significativo no segundo ano agrícola, sendo representado por uma equação quadrática, com tendência de estabilização do pH para as maiores doses de biossólido.

Outros autores, como Silva et al. (2001), Martins et al. (2003) e Rocha et al. (2004), também verificaram aumentos no pH do solo com a adição de biossólidos alcalinos.

Para Barcelar et al. (2001), o aumento do pH pela aplicação do lodo de esgoto alcalinizado, está associado a sua composição química, uma vez que o mesmo é resultante de uma mistura com cal; e a inexistência de  $Al^{+3}$  trocável nos diferentes tratamentos está associada aos altos valores de pH, concordando com Rocha et al. (2004) que associa os decréscimos nos teores de alumínio trocável ao aumento do pH. É importante ressaltar que em valores de pH acima de cerca de 6,0 o alumínio precipita-se na forma de  $Al(OH)_3$  (NETO, 2001).

### 3.1.2. Influência nos teores de matéria orgânica e fósforo

Foram observados acréscimos significativos nos teores de matéria orgânica no solo. Os teores de matéria orgânica apresentaram aumentos de 77 e 34%, para a dose mais alta (36 Mg ha<sup>-1</sup>) quando utilizando BP e BC, respectivamente, em comparação com a testemunha (Figura 2.12). Este aporte de matéria orgânica, segundo Nascimento et al. (2004), é especialmente importante para os solos da região Nordeste, que apresentam, naturalmente, baixos teores de matéria orgânica.

Borges e Coutinho (2004) verificaram que ocorreram aumentos lineares dos teores de matéria orgânica em dois solos estudados, graças ao teor de material orgânico presente no biossólido. Oliveira et al. (1995), Simonete (2001) e Trannin et al. (2005) também encontraram acréscimos nos teores de matéria orgânica em função da adição de lodo de esgoto ao solo. No entanto, Nascimento et al. (2004) acrescentam que a manutenção de altos teores de matéria orgânica pela adição de lodo dependerá de aplicações sucessivas do resíduo devido a sua decomposição.

Cabe ainda observar que, quando foram comparadas as médias utilizando o teste Tukey a 5% de significância, o acréscimo no teor de matéria orgânica pela aplicação da dose mais alta do BC foi estatisticamente igual ao da segunda dose de BP aplicada. Isto se deve ao fato de BC ser um lodo de esgoto higienizado, cuja composição é resultante da mistura com cal.

A adição de BP e BC também provocaram acréscimos lineares significativos nos teores de fósforo no solo. Os teores de fósforo apresentaram aumentos de 90; 199; 294 e 377% para as doses de BP e 55; 108; 165 e 227% para as doses de BC quando comparadas à testemunha (Figura 2.13). Esses dados são semelhantes aos obtidos por Oliveira et al. (1995), Melo et al. (2000), Simonete (2001), Rocha et al. (2004) e Colodro e Espíndola (2006) que observaram aumentos dos teores de P com a aplicação de lodo de esgoto ao solo.

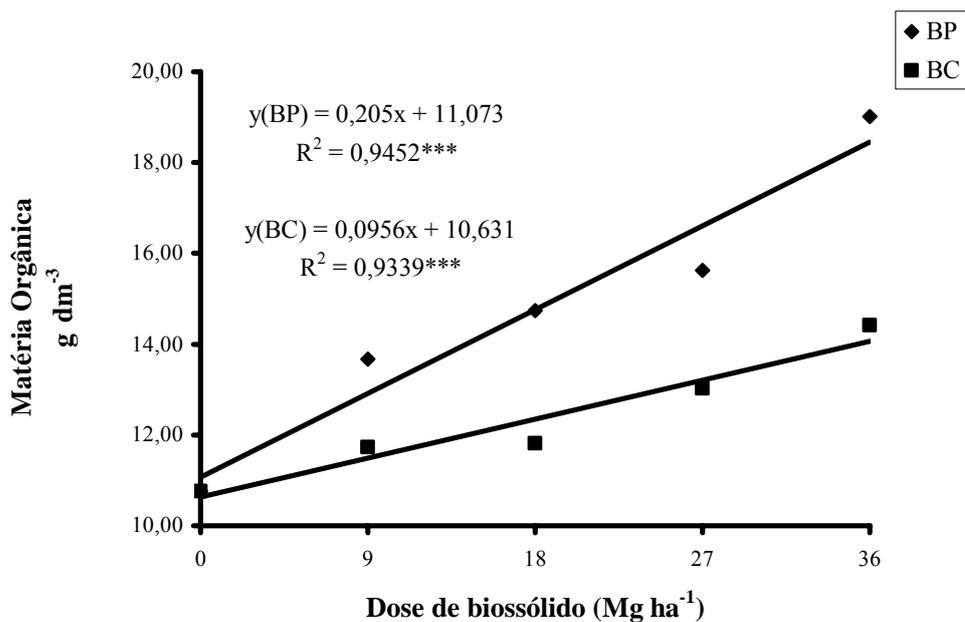


Figura 2.12. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC nos teores de matéria orgânica do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

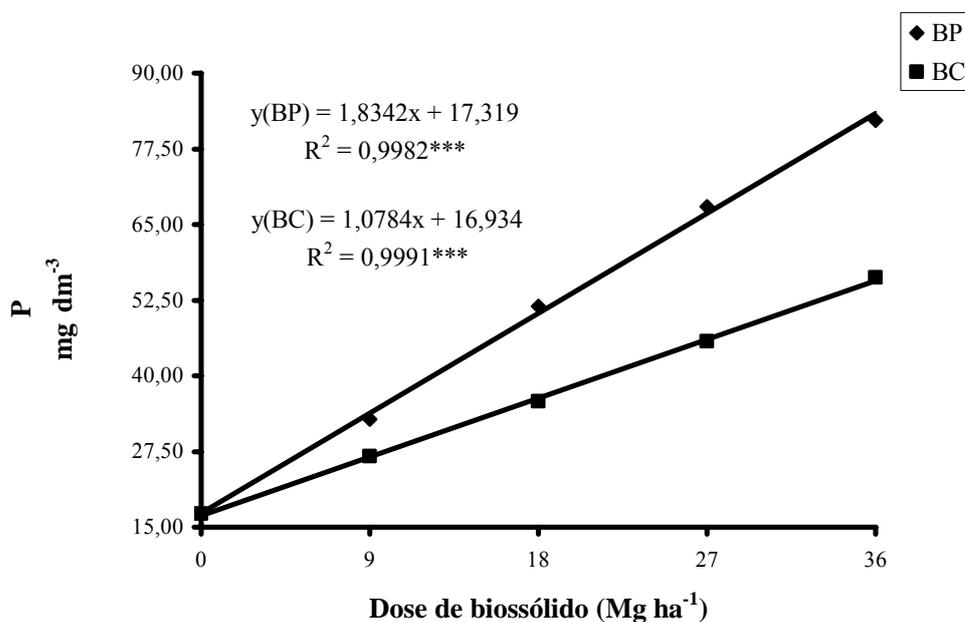


Figura 2.13. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC nos teores de fósforo do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

Para Barbosa et al. (2002), os resultados dos teores de P mostraram diferenças significativas entre os tratamentos com doses de 24 e 36 t ha<sup>-1</sup> em relação aos

tratamentos com doses menores (6, 12 e 18 t ha<sup>-1</sup>) de lodo, testemunha e adubação mineral.

Nascimento et al. (2004) observaram aumentos significativos nos teores de P disponível, com duplicação dos teores originais das amostras para a dose mais elevada do lodo. Mas, os teores de P disponíveis no solo estavam ainda em níveis baixos, levando a conclusão de que, neste caso, doses maiores de lodo poderiam ser aplicadas, ou seria necessária complementação com fertilizantes minerais, para obtenção de altas produtividades. Nascimento et al. (2004), citando Hue (1995), acrescentaram que além de ser fonte de P, o lodo poderia atuar diminuindo a adsorção desse elemento em solos, reduzindo a fixação do fósforo por óxidos de ferro (Colodro e Espíndola, 2006), graças ao elevado teor de matéria orgânica que forneceria íons orgânicos que competiriam pelos sítios de adsorção de fósforo, aumentando a disponibilidade do elemento.

### **3.1.3. Influência na disponibilidade dos cátions trocáveis (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>)**

Os teores de cálcio apresentaram incrementos não lineares com a adição de BC e de BP, apresentando valores estatisticamente significativos (Figura 2.14). O que não aconteceu com o magnésio, sendo lineares as relações entre as doses adicionadas de BC e BP aplicadas ao solo e os teores deste elemento (Figura 2.15). Mesmos com relações diferentes para os dois elementos, houve incrementos positivos em todos os tratamentos em comparação com a análise inicial do solo.

Melo et al. (2000), Silva et al. (2001), Castro et al. (2002), Barbosa et al. (2002), Fia et al. (2005) e Colodro e Espíndola (2006) também constataram que houve um aumento significativo nos teores de cálcio em função da adição de biossólidos. Com relação ao magnésio, dos autores citados anteriormente apenas da Melo et al. (2000) não observaram acréscimos nos teores deste elemento.

Esses resultados, encontrados com adição de BC, que mostraram que o biossólido enriquece o solo, principalmente com cálcio e magnésio, são devido ao fato do biossólido ser proveniente da higienização com cal extinta a 50% de peso seco do lodo a 30% de sólidos totais.

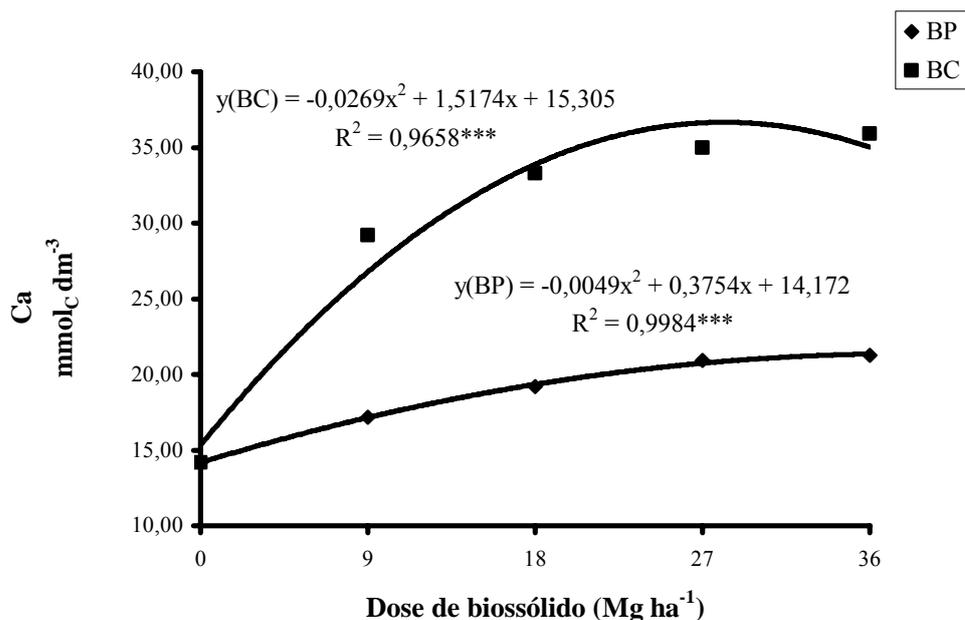


Figura 2.14. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC nos teores de cálcio do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

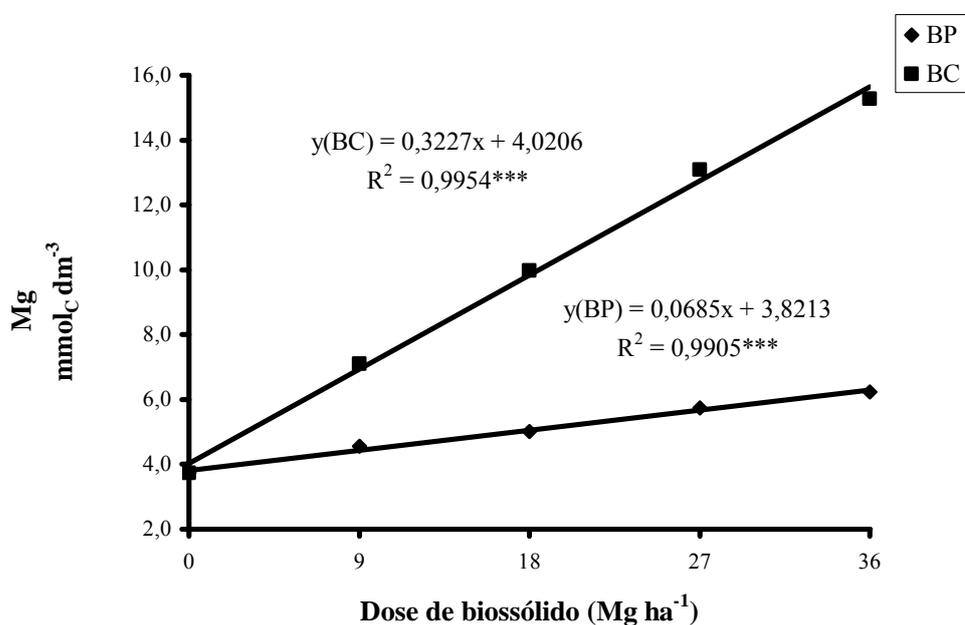


Figura 2.15. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC nos teores de magnésio do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

Em relação ao K trocável (Figura 2.16), observa-se que os teores no solo não foram influenciados significativamente pelos dois biofertilizantes estudados, existindo até

uma pequena redução para a primeira dose de BC, e em seguida um crescimento na segunda e terceira dose e posterior decréscimo na quarta dose de BC. Já em BP, também houve um pequeno aumento na primeira dose seguindo-se de uma diminuição que se torna, praticamente, constante, mas, mesmo assim maior que a testemunha. Oliveira et al. (1995) e Barbosa et al. (2002) também não encontraram diferença significativa entre os tratamentos para os teores de potássio.

No entanto, Simonete et al. (2003) constataram um aumento no teor de potássio do solo, em função da aplicação de doses crescentes, até a dose máxima de  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com o coeficiente de determinação baixo ( $R^2 = 0,47^{**}$ ). Fia et al. (2005) e Colodro e Espínola (2006) encontraram resultados semelhantes à Simonete et al. (2003), ocorreu um aumento significativo nos teores de potássio. Mas, os primeiros autores consideraram que as concentrações obtidas nos solos tratados com lodo de esgoto caaleado após o cultivo do milho podem ser classificadas como muito boas citando a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG (1999). Enquanto que Colodro e Espínola (2006) consideraram os seus valores baixos.

O teor baixo de potássio nos biossólidos deste trabalho e nos citados anteriormente era esperado uma vez que o potássio é bastante solúvel em água e, durante o tratamento dos esgotos nas ETEs, o mesmo tende a ficar em solução, ou melhor, no esgoto tratado e não no lodo. Apesar do baixo teor, nos biossólidos, é um nutriente totalmente assimilável pelas plantas (TSUTIYA, 2002).

Quanto ao sódio (Figura 2.17), tanto o BC quanto o BP acresceram de forma linear o teor deste elemento no solo, sendo que o melhor coeficiente de correlação ocorreu na curva resposta de BP. O sódio foi o elemento em menor quantidade nos biossólidos semelhante ao encontrado por Simonete (2001) e Nascimento et al. (2004), que também verificaram acréscimos deste elemento no solo em função da aplicação do resíduo. Esses últimos observaram aumentos significativos apenas para o Argissolo em estudo a partir da dose equivalente a  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

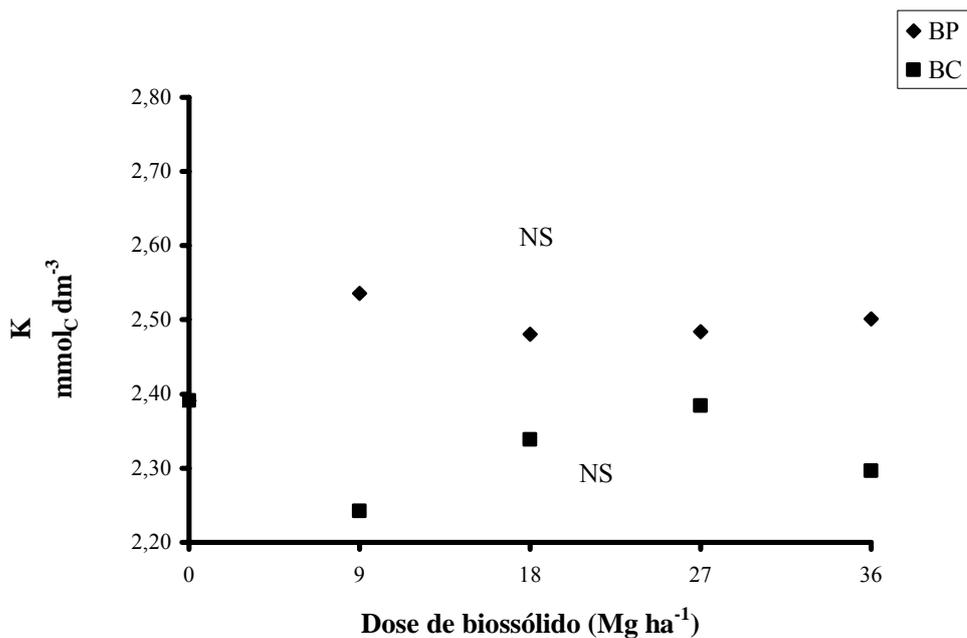


Figura 2.16. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de potássio do solo (NS indica que os termos de regressão foram não significativos a  $P \leq 5\%$  pelo teste F na análise de variância).

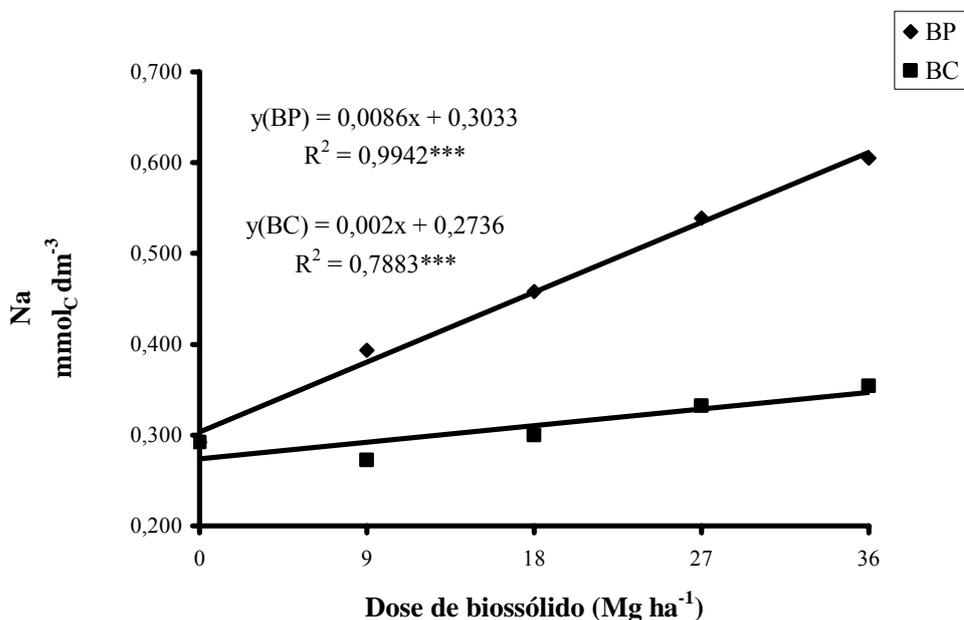


Figura 2.17. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC nos teores de sódio do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

Com relação à capacidade de troca de cátions (CTC), a curva de resposta (Figura 2.18) mostrou uma tendência de aumento com o aumento da dose de biossólido. A

elevação da CTC permite uma maior adsorção de elementos catiônicos, sendo esse um importante parâmetro na avaliação de um solo. Segundo Castro et al. (2002), com o aumento significativo nos teores de cálcio e magnésio em função da utilização do lodo calado verificaram-se diferenças nos valores CTC e do índice de saturação por bases (V).

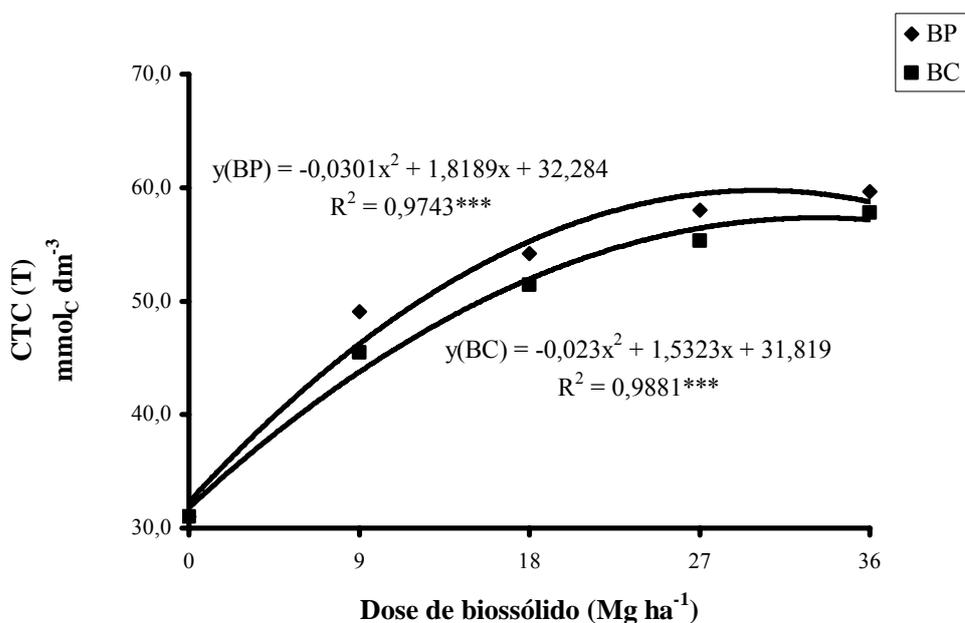


Figura 2.18. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC na CTC potencial do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

A CTC potencial (T), a soma de bases (Figura 2.19) e o índice de saturação por bases (Figura 2.20) do solo tiveram seus valores aumentados com o aumento das doses de BC. Em virtude dos aumentos dos teores trocáveis de Ca, Mg, Na e H+Al, com a aplicação de BP no solo, verificou-se aumento na soma de bases do solo e na CTC potencial e uma queda em V%, menos acentuada que o acréscimo de V para o BC. Há que se considerar que a CTC pelo cálculo pode ocasionar superestimação dessa característica por causa dos teores de Ca e Mg presentes no lodo.

O impacto na qualidade do solo com a adição de biossólido, indicado pela CTC, foi evidenciado por Melo et al. (2000), Nascimento et al. (2004), Pigozzo et al. (2004) e Colodro e Espínola (2006).

De acordo com Nascimento et al. (2004) o aumento da retenção de cátions pela carga orgânica proveniente do lodo é considerado extremamente importante para solos

de baixa CTC e pobres em matéria orgânica, o que naturalmente acontece nas regiões de clima tropical e nos solos da região Nordeste, principalmente nos tabuleiros costeiros.

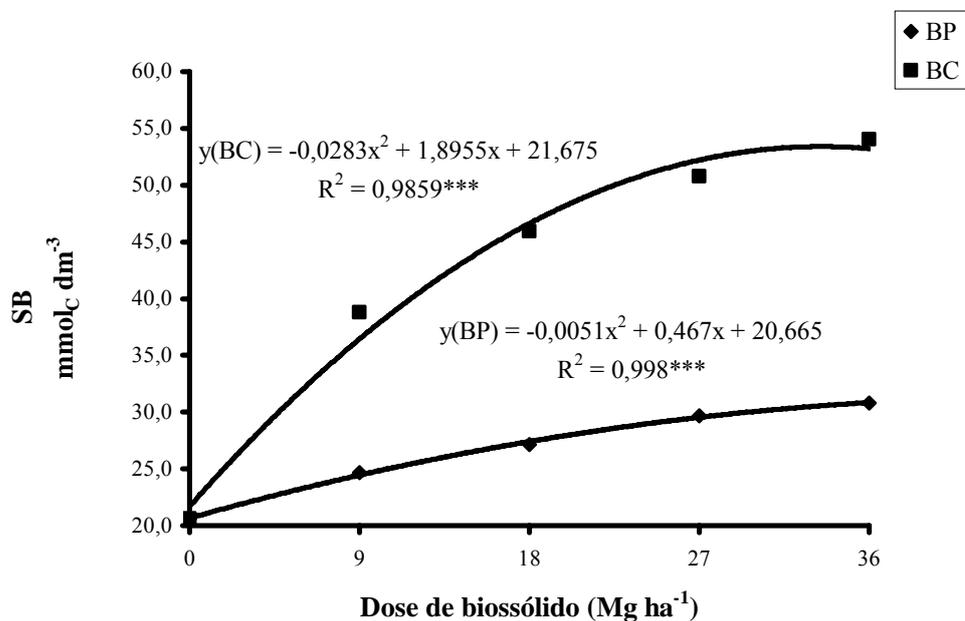


Figura 2.19. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC na soma de bases trocáveis do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

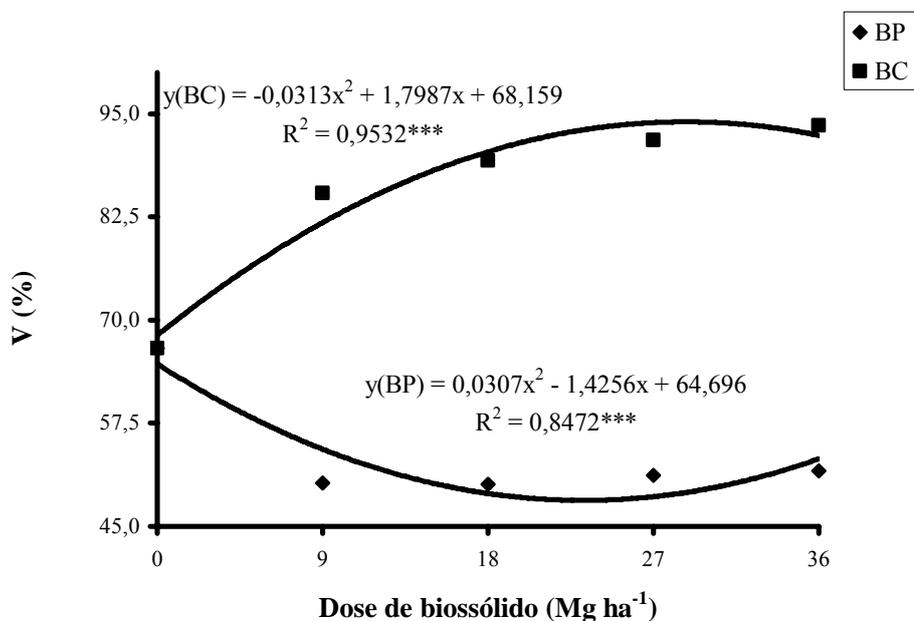


Figura 2.20. Influência da aplicação dos biofertilizantes BP e BC no índice de saturação por base do solo (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

### 3.2. Efeitos dos Biossólidos na Produção de Massa Seca de Plantas de Milho Trinta Dias após a Germinação

Comparando os dois biossólidos, a adição de BP promoveu um aumento linear e significativo na produção de massa seca, no entanto, para o BC não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2.21). Isto pode ter acontecido devido à elevação do pH, promovendo desequilíbrios nutricionais.

A massa seca do milho do tratamento adicional com adubação química (6,53 g vaso<sup>-1</sup>) foi inferior aos tratamentos com BP (6,69 a 9,02 g vaso<sup>-1</sup>) e superior aos tratamentos BC (4,75 a 5,26 g vaso<sup>-1</sup>) e testemunha (5,39 g vaso<sup>-1</sup>), não havendo diferença significativa entre os tratamentos que receberam BC e a testemunha.

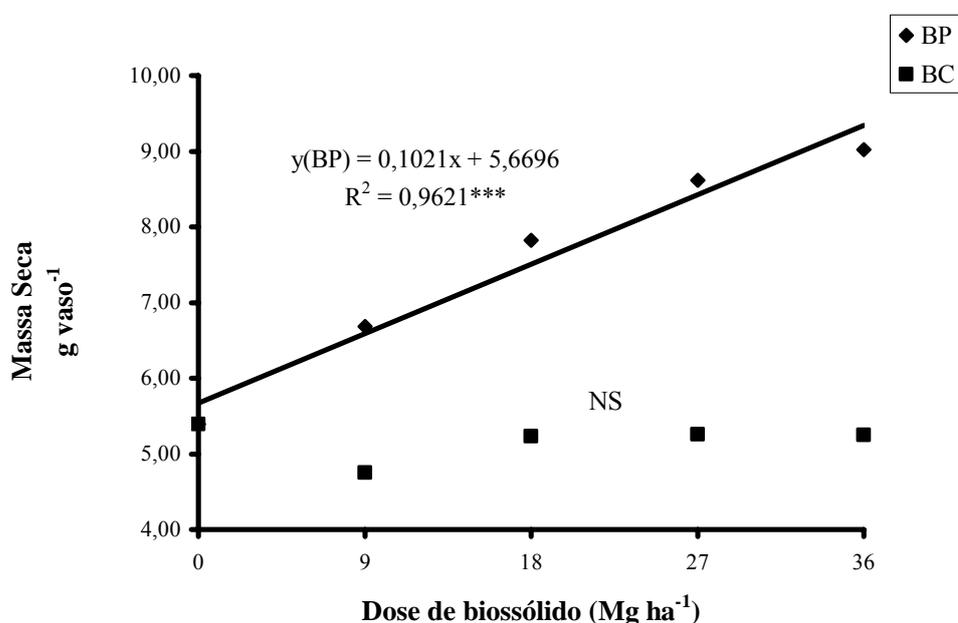


Figura 2.21. Influência da aplicação dos biossólidos BP e BC na produção de massa seca de plantas de milho (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância e NS não significativos a  $P \leq 5\%$ ).

### 3.3. Metais no ARGISSOLO ACINZENTADO com fragipã

As quantidades de metais pesados incorporadas ao solo pelas doses crescentes dos biossólidos pasteurizado e caleado e os teores extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 após 30 dias de incubação são apresentados nas tabelas 2.6 e 2.7.

Tabela 2.6. Quantidades totais de metais adicionadas ao solo pelos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caledado.

Dose Mg ha <sup>-1</sup>	Cd µg kg <sup>-1</sup>	Cu	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn	Pb µg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
<b>Biossólido pasteurizado</b>						
9	2,35	0,45	44,83	0,52	75,98	1,19
18	4,69	0,89	89,66	1,04	151,96	2,39
27	7,04	1,34	134,49	1,56	227,94	3,58
36	9,38	1,79	179,33	2,08	303,92	4,78
<b>Biossólido caledado</b>						
9	1,26	0,20	20,31	0,36	42,75	0,78
18	2,52	0,41	40,61	0,71	85,5	1,55
27	3,78	0,61	60,92	1,07	128,25	2,33
36	5,04	0,82	81,23	1,43	171,00	3,11

Tabela 2.7. Os teores de metais extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 dos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caledado.

Dose Mg ha <sup>-1</sup>	Cd µg kg <sup>-1</sup>	Cu	Fe mg kg <sup>-1</sup>	Mn	Pb µg kg <sup>-1</sup>	Zn mg kg <sup>-1</sup>
<b>Biossólido pasteurizado</b>						
0	0,413 A1	0,174 A1	26,936 A1	0,893 A1	6,673 A2	0,315 A1
9	0,419 A1	0,356 A2	28,090 A2	1,470 A2	4,958 A1	2,041 A2
18	0,475 A1A2	0,461 A3	28,180 A2	2,086 A3	4,978 A1	3,211 A3
27	0,498 A1A2	0,645 A4	28,588 A3	2,796 A4	4,722 A1	5,148 A3
36	0,579 A2	0,728 A5	28,698 A3	3,270 A5	4,535 A1	6,049 A3
<b>Extração (%)</b>	1,36	33,48	1,3	116,52	*	127,21
<b>Biossólido caledado</b>						
0	0,413 A1	0,174 A1	26,936 A4	0,893 A3, A4	6,673 A3	0,315 A1
9	1,289 A2	0,168 A1	20,704 A1	0,484 A1	2,745 A1	0,717 A2
18	1,827 A4	0,237 A2	22,482 A2	0,753 A2	3,010 A1	1,254 A3
27	2,021 A5	0,301 A3	23,326 A3	0,862 A3	3,089 A1	1,818 A4
36	1,592 A3	0,365 A4	23,958 A3	0,948 A4	4,240 A2	2,372 A5
<b>Extração (%)</b>	40,29	18,33	*	*	*	63,06

\*Quantidade extraída inferior à adicionada via biossólido.

Médias seguidas de A1, A2, A3, A4 e A5 na vertical diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

A adição de doses crescentes do biossólido pasteurizado promoveu aumentos nos teores extraídos de todos os elementos, exceção feita ao Pb onde houve decréscimos nos teores extraídos dos tratamentos que receberam BP, não apresentando diferenças significativas entre estes (Figuras 2.22 a 2.27). O mesmo comportamento foi observado por Nascimento et al. (2004), os quais citam que para todos os metais (Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) analisados, a exceção do Pb, foi observada estreita relação entre as doses do lodo e os teores disponíveis avaliados pelo extrator DTPA. Pigozzo et al. (2004), estudando a disponibilidade de metais de transição no solo tratado com lodo de esgoto, observaram

que os teores de micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn disponíveis no solo extraídos pelo DTPA aumentaram gradativamente com aumento das doses do lodo de esgoto aplicado e não detectaram o Pb. Esse fato também foi observado por Simonete (2001) que, aplicando lodo de esgoto em solo cultivado com milho, em casa de vegetação, encontrou acréscimo nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn extraídos pelo DTPA e não detectou o elemento chumbo.

A solução extratora DTPA extraiu 33% do que foi adicionado do elemento Cu, quantidade esta inferior à extraída para o Mn (117%) e Zn (127%), o que, provavelmente, se deve ao fato de este elemento ser, dentre os micronutrientes, aquele que forma os complexos mais estáveis com a matéria orgânica (LUCHESE, 2001; BORGES e COUTINHO, 2004), dificultando portanto a sua extração pela referida extratora.

Nos tratamentos que receberam BP, a solução extratora DTPA extraiu quantidades acima do adicionado via biossólido, ou seja, quantidades superiores a 100% dos elementos Mn (117%) e Zn (127%). Este comportamento está certamente relacionado à redução do pH do solo de 5,67 a 4,83, provocada pela adição de doses crescentes de BP. Resultado semelhante foi encontrado por Borges et al. (2004b) em que no Latossolo Vermelho, o DTPA extraiu 649% de Mn, os quais citam que a aplicação de biossólido promoveu maior solubilização do manganês neste solo. Simonete (2001) constatou que o DTPA extraiu 133% das quantidades de manganês adicionadas via resíduo, considerando que, provavelmente, este fato estivesse relacionado à redução do pH do solo, pois, citando Tisdale et al. (1985), afirmou que a solubilidade do Mn aumenta com o aumento da acidez do solo, sendo que a concentração de Mn na solução pode aumentar em 100 vezes para cada unidade de decréscimo de pH.

Apesar de o Fe ser o elemento adicionado, via biossólido pasteurizado, em maior quantidade, houve um aumento relativamente pequeno de disponibilidade desse elemento no solo com percentual de extração de 1,3%. Para este elemento, em Nascimento et al. (2004), foi também encontrada a menor taxa de recuperação (4%). Segundo estes autores, isto indicava que o ferro encontrava-se no lodo de esgoto em formas de baixa disponibilidade, como, por exemplo, óxidos de ferro.

Para o Cd, a extratora removeu uma pequena quantidade ( $0,080 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) do que foi adicionado via biossólido pasteurizado ( $5,86 \mu\text{g kg}^{-1}$ ). Pigozzo et al. (2004), Oliveira

e Matiazzo (2001) não conseguiram detectar quantidades extraíveis deste elemento, pois estavam abaixo dos limites de determinação do método analítico empregado.

Comparando os limites de interpretação dos teores de micronutrientes extraídos com DTPA em solos do Estado de São Paulo (TOMÉ Jr., 2001) e os resultados da tabela 2.7 para o bio sólido pasteurizado, observa-se que: os teores de Cu e Mn no solo passaram do nível baixo para o médio; que o teor de Zn passou do nível baixo para o alto e que o Fe, que já era alto na testemunha, permaneceu alto. Com relação aos metais pesados não essenciais, a adição de BP reduziu a quantidade disponível de Pb na dose 9 Mg ha<sup>-1</sup>, a qual não apresentou diferença significativa com relação as demais doses, e que o Cd foi pouco disponibilizado (1,36%) e ainda assim, em nível de traços (µg kg<sup>-1</sup>).

A adição de doses crescentes do bio sólido calcado (alcalino) quando comparado ao bio sólido pasteurizado (ácido) promoveu uma indisponibilidade em todos os elementos, com exceção do Cd. Este comportamento geral era esperado, uma vez que, a disponibilidade de metais diminui com elevação do pH (MARTINS et al., 2003).

A adição de doses crescentes do bio sólido calcado também promoveu incrementos nos teores extraídos de Cd, Cu e Zn (Figuras 2.22; 2.23 e 2.27). Para os elementos Fe e Mn houve acréscimos nos teores extraídos dos tratamentos com BC; mas, mesmo para maior dose aplicada, os teores foram estatisticamente inferiores (Fe) ou iguais (Mn) ao teor extraído da testemunha, revelando uma tendência quadrática (Figuras 2.24 e 2.25). Os teores extraídos dos tratamentos que receberam BC, para o elemento o Pb, também foram inferiores à testemunha e com acréscimo de 54% na dose 36 Mg ha<sup>-1</sup> em relação à dose 9 Mg ha<sup>-1</sup>, mostrando uma tendência quadrática (Figura 2.26). Resultado semelhante, para o Pb, foi encontrado por Borges et al. (2004b) que no Latossolo Vermelho a extração com DTPA, nos tratamentos com a presença de corretivos, os teores diminuíram nas primeiras doses, voltando a crescer. Esses autores justificam que este fato pode estar relacionado com o aumento do teor de matéria orgânica do solo, causado pela aplicação de bio sólido.

Nos tratamentos que receberam o bio sólido calcado ocorreu uma redução no percentual extraído dos elementos Cu (18%) e Zn (63%) em comparação ao BP, mostrando a redução na disponibilidade.

A solução extratora não conseguiu extrair o que foi adicionado do elemento Mn via bio sólido nas três primeiras doses. Efeito também observado por Borges e

Coutinho (2004b) e Silva et al. (2001), os quais relacionam este comportamento com a elevação do pH.

Esse comportamento de redução do percentual extraído dos metais pesados, devido à adição BC, não aconteceu para o elemento Cd (40%). Silva et al. (1995), estudando metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira) cultivada em solo adubado com lodo de esgoto (pH 10,2), verificaram aumento no pH do solo e aumento na disponibilidade do Cd. De forma semelhante, Mattiazzo e Barretto (1995), estudando o comportamento de Cd adicionado a solos em diferentes pH, observaram que a solução tamponada de DTPA foi afetada pelo pH, a qual recuperava quantidades maiores de Cd em valores maiores de pH.

Com relação ao Fe, a solução de DTPA extraiu nos tratamentos com adição de BC menos do que na testemunha. Silva et al. (2001) trabalhando com um lodo de esgoto alcalino verificaram que apenas 0,1% do teor total foi extraído pela solução DTPA e considerou o Fe contido no lodo alcalino pouco solúvel.

Comparando os limites de interpretação dos teores de micronutrientes extraídos com DTPA em solos do Estado de São Paulo (TOMÉ Jr., 2001) e os resultados da dose 36 Mg ha<sup>-1</sup> de BC presentes na tabela 2.7, observa-se que: o teor de Cu passou do nível baixo para o médio; o nível de Fe continuou alto; o nível de Mn permaneceu baixo; o Zn passou de baixo para alto. Com relação aos metais pesados não essenciais, a adição de BC reduziu a quantidade disponível de Pb na dose 9 Mg ha<sup>-1</sup>, aumentando nas doses seguintes sem superar o teor na testemunha. Apesar do aumento no percentual de recuperação do Cd, este elemento ainda se encontra em nível de traços (µg kg<sup>-1</sup>) no solo para última dose de bio sólido.

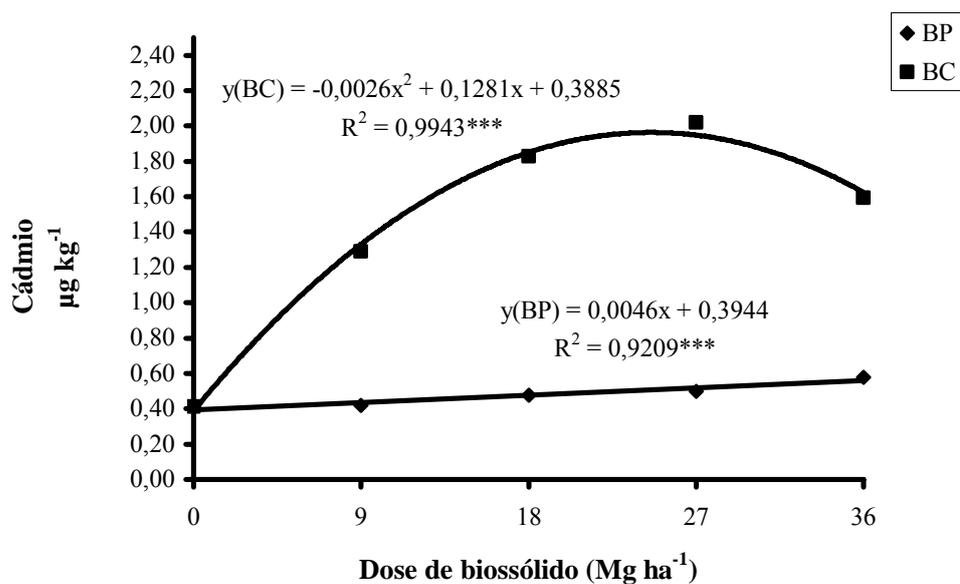


Figura 2.22. Teores de cádmio extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

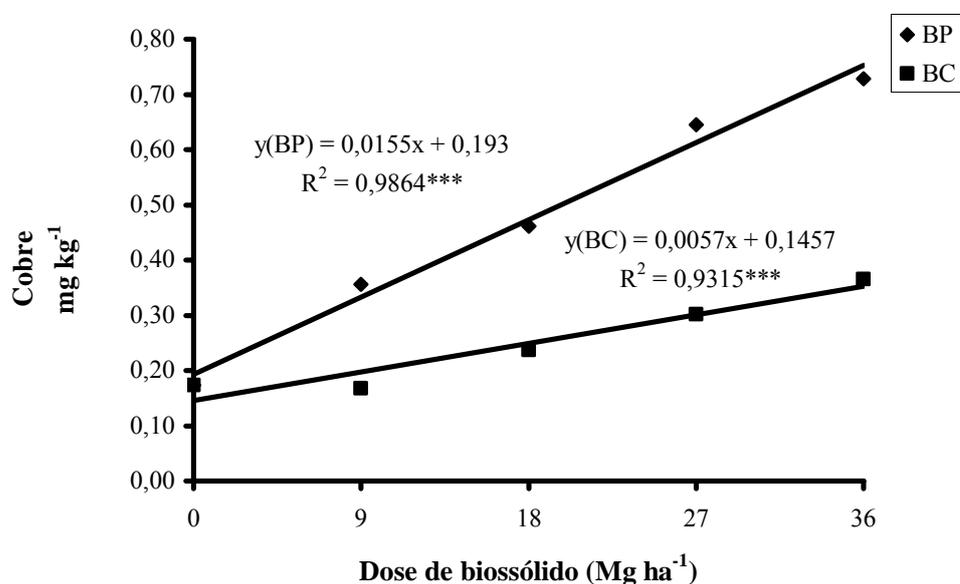


Figura 2.23. Teores de cobre extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

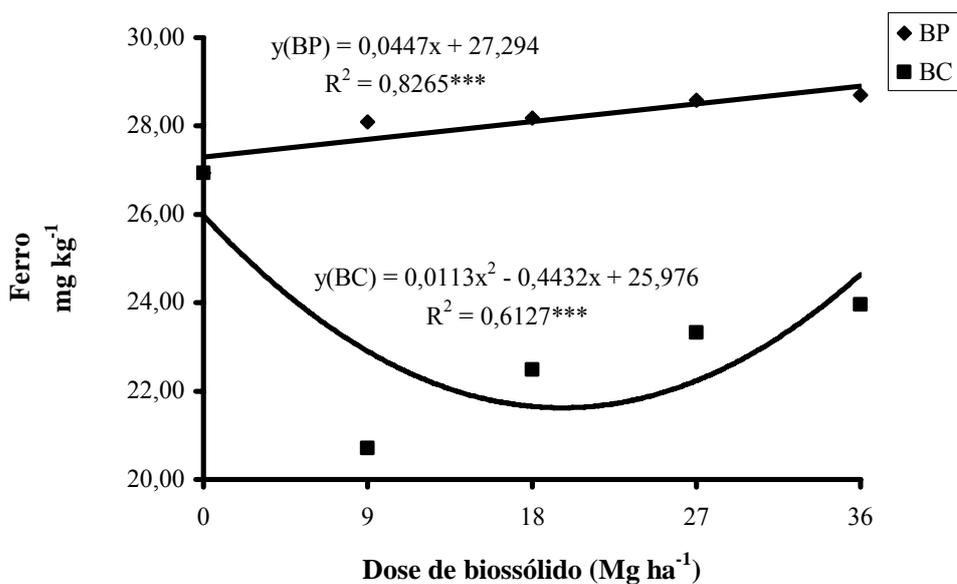


Figura 2.24. Teores de ferro extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

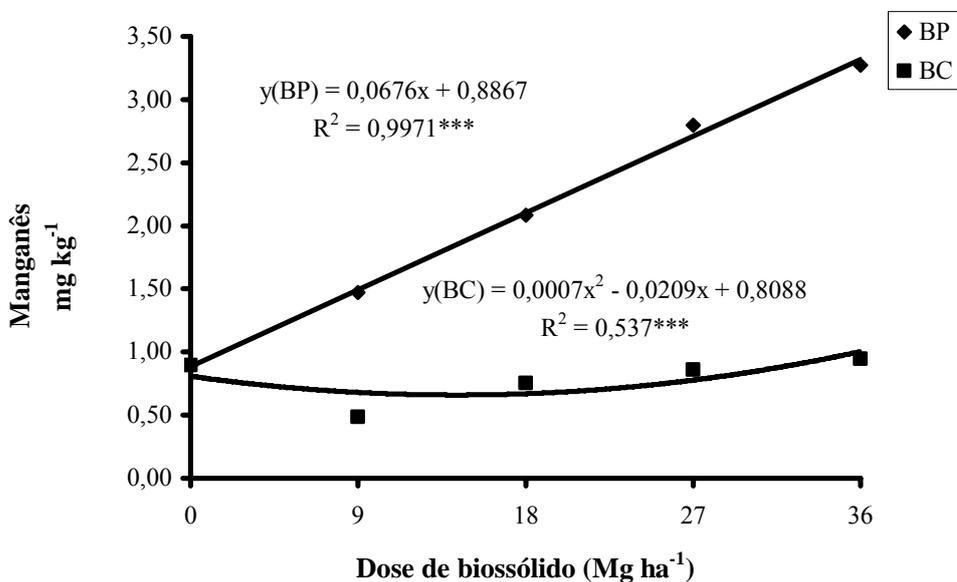


Figura 2.25. Teores de manganês extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

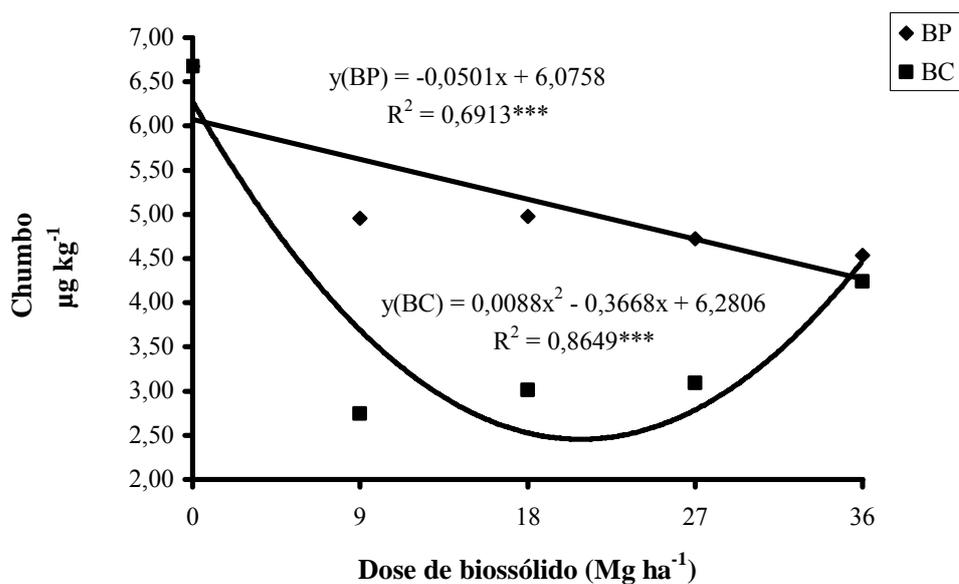


Figura 2.26. Teores de chumbo extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

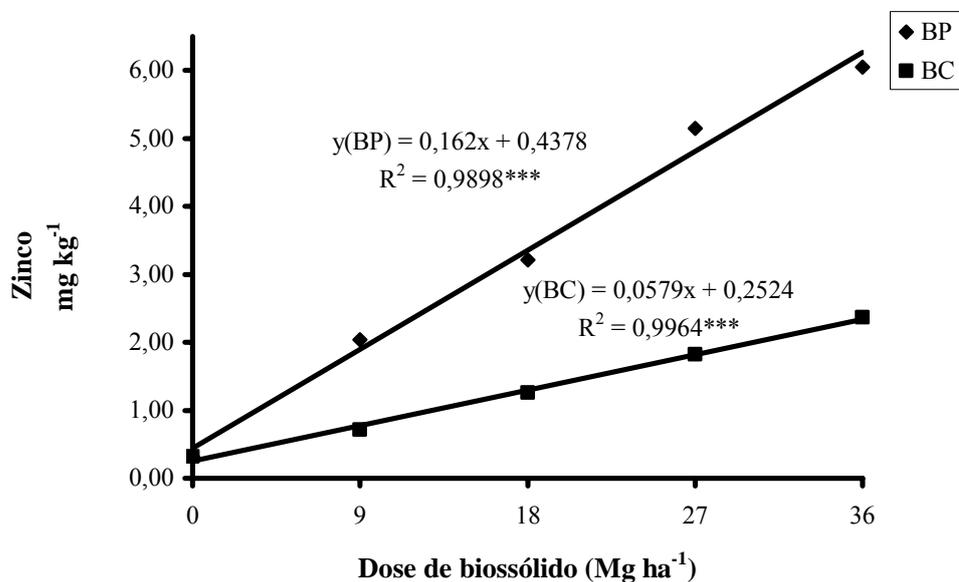


Figura 2.27. Teores de zinco extraídos pela solução extratora DTPA a pH 7,3 em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

### 3.4. Acúmulo de Metais na Planta Indicadora

Com a adição das doses crescentes do bio-sólido pasteurizado, observou-se efeito significativo no acúmulo de cobre, ferro, manganês e zinco pelas plantas, o que não aconteceu com o chumbo. Através da análise de regressão do cobre, ferro, manganês e zinco, conforme mostrado na figuras 2.28, 2.29, 2.30 e 2.32 verificou-se que o acúmulo destes metais pelas plantas apresenta um comportamento linear crescente com a adição das doses de BP, com coeficientes de determinação ( $r^2$ ) superiores a 95%, ou seja, uma forte correlação: Cu ( $r^2 = 0,9767$ ), Fe ( $r^2 = 0,9928$ ), Mn ( $r^2 = 0,9839$ ) e Zn ( $r^2 = 0,9645$ ).

A adição da maior dose de BP promoveu incrementos nos teores de cobre, ferro, manganês e zinco em relação à testemunha de 177; 69; 330 e 815%, respectivamente. O chumbo (Figura 2.31) apresentou comportamento polinomial quadrático, havendo tendência de queda no acúmulo desse elemento na planta a partir da dose 27 Mg ha<sup>-1</sup> e a maior dose (36 Mg ha<sup>-1</sup>) ainda promoveu um incremento de 96,78% em relação à testemunha.

Alguns autores, estudando o acúmulo de metais em plantas cultivadas em solo tratados com bio-sólido, têm observado um aumento na absorção de Cu, Fe, Mn e Zn (ANJOS e MATTIAZZO, 2000; SIMONETE, 2001; NASCIMENTO et al., 2004)

Com relação ao acúmulo dos metais pelas plantas de milho, quando doses crescentes de BC foram adicionadas ao solo, constatou-se a indisponibilidade dos elementos Fe, Mn e Zn provocada pelo aumento no pH. Pigozzo et al. (2004) cita que a disponibilidade do ferro é reduzida em pH elevado e acrescenta, citando Hooda e Alloway, (1996), que a redução de até 0,5 unidade de pH pode ser significativa na disponibilidade de metais em solo.

Martins et al. (2003) citam que absorção do Fe, Mn e Zn pelo milho foram significativamente reduzidas pela adição de calcário. Borges e Coutinho (2004a) citam que de maneira geral, os metais apresentam maior solubilidade em condições de acidez e que aumentos do pH do solo, proporcionados pela calagem, reduzem sua disponibilidade para as plantas.

Comparando os teores adequados de micronutrientes para a cultura do milho (SILVA, 1999) e os teores de Cu, Fe, Mn e Zn acumulados na parte aérea da planta para todos os tratamentos na tabela 2.8, observa-se que: a adição de BP levou os micronutrientes Fe, Mn e Zn a níveis adequados, exceção feita ao Cu em que todos os

tratamentos promoveram acúmulo em relação à testemunha, mas não para uma faixa adequada; a adição de BC revelou o mesmo comportamento do BP com relação ao elemento Cu, manteve o teor de ferro na faixa adequada, elevou o teor de Zn próximo ao limite inferior da faixa de teor adequado e retirou o Mn da faixa adequado, levando-o a níveis muito baixos.

Estes resultados sugerem que é possível aumentar a dose de BP para elevar os teores de Cu a níveis adequados sem que ocorra problemas de fitotoxicidade e que para o cálculo da dose de BC deve ser levado em consideração não somente a quantidade de nitrogênio requerida para a cultura, mas também o potencial de neutralização da acidez do solo provocada pelo bio-sólido, adotando-se a menor dose calculada entre os dois procedimentos (FIA et al., 2006).

Tabela 2.8. Comparação entre os teores de micronutrientes acumulados na planta indicadora em função das doses dos bio-sólidos e as suas faixas de teores adequados.

Dose (Mg ha <sup>-1</sup> )	Micronutrientes			
	Cu	Fe	Mn	Zn
	Faixa adequada (mg kg <sup>-1</sup> )			
	6 – 20*	30 – 250*	20 – 200*	15 – 100*
<b>Bio-sólido pasteurizado</b>				
0	2,0	50,5	37,9	10,8
9	2,3	48,2	61,8	29,9
18	2,8	48,0	79,7	47,8
27	2,7	50,3	90,0	48,0
36	3,3	51,2	97,3	59,0
<b>Bio-sólido calcado</b>				
0	2,0	50,5	37,9	10,8
9	3,5	67,9	5,0	9,8
18	3,3	62,1	6,8	10,6
27	3,4	53,6	7,3	13,3
36	3,8	48,7	9,3	14,3

\* SILVA, 1999.

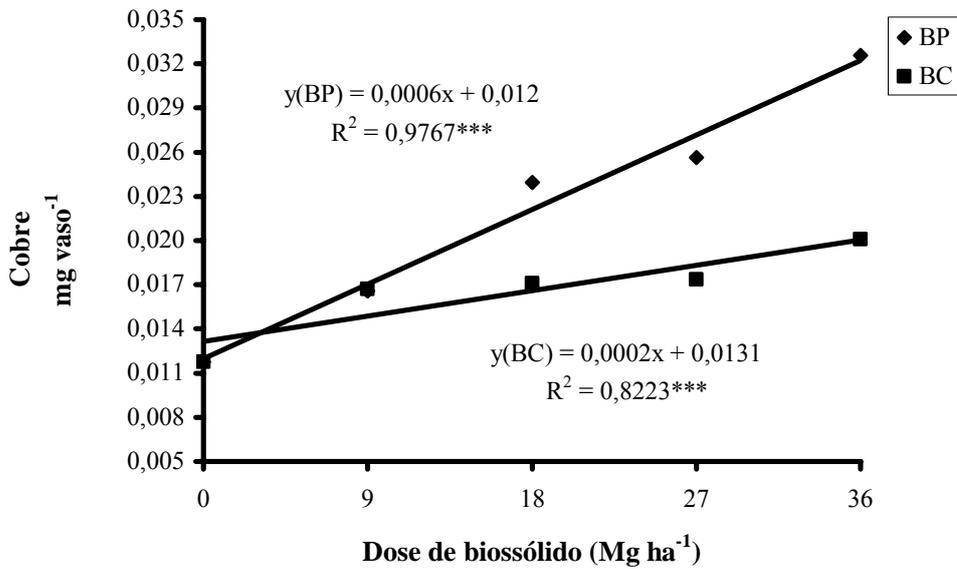


Figura 2.28. Quantidade de cobre acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

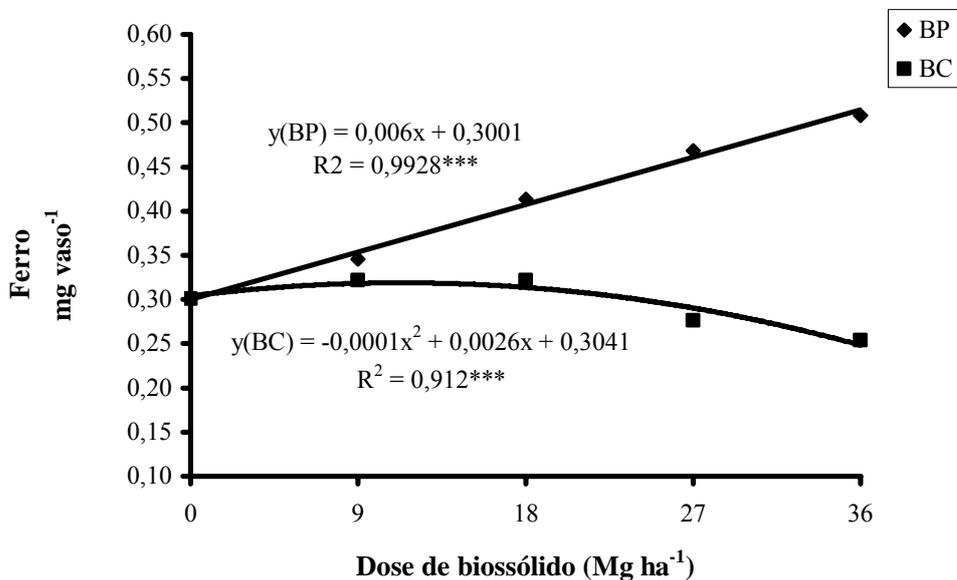


Figura 2.29. Quantidade de ferro acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

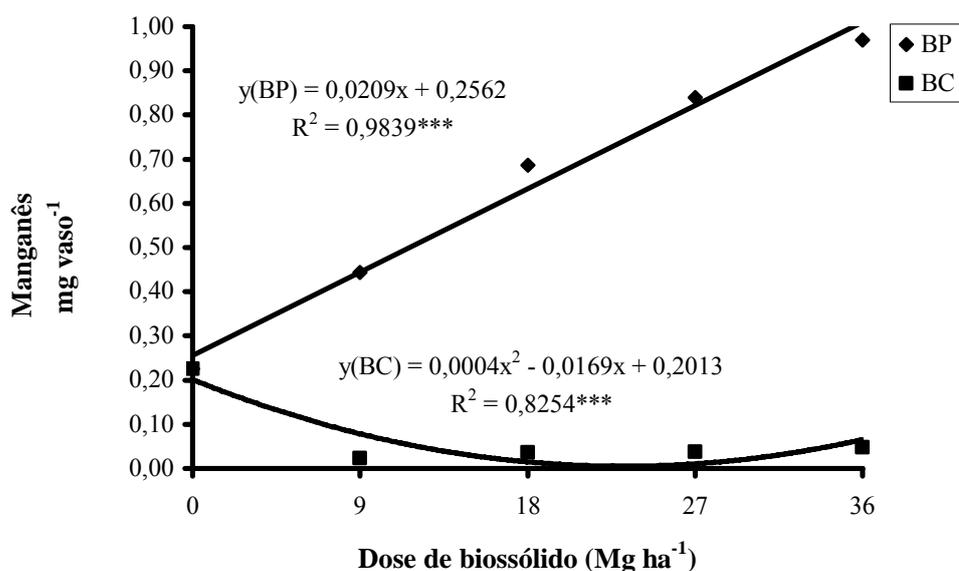


Figura 2.30. Quantidade de manganês acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

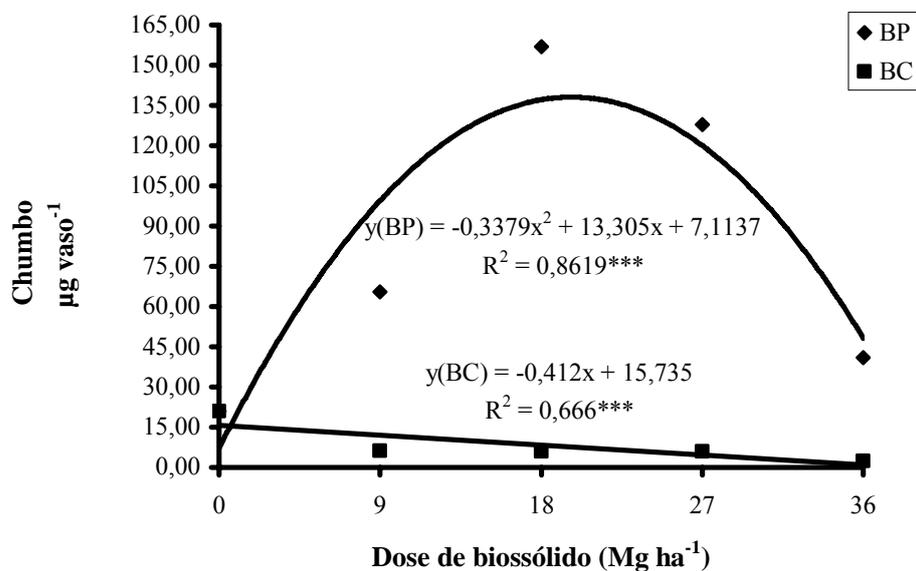


Figura 2.31. Quantidade de chumbo acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

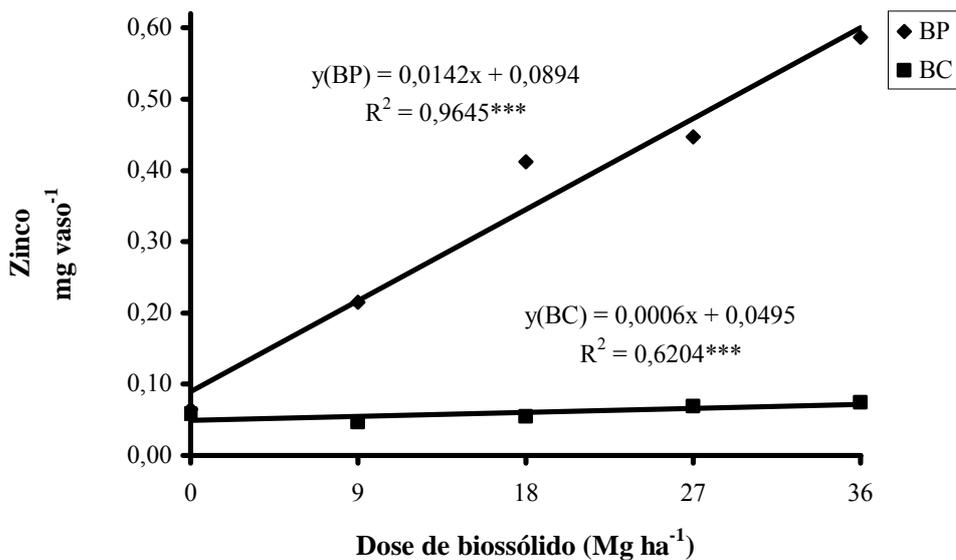


Figura 2.32. Quantidade de zinco acumulada pela parte aérea das plantas em função da aplicação de doses crescentes de BP e BC (\*\*\*) indica que os termos de regressão foram significativos a  $P \leq 0,1\%$  pelo teste F na análise de variância).

### 3.5. Fitodisponibilidade de Metais

A eficiência da solução extratora DTPA a pH 7,3 em prever a disponibilidade dos metais pesados Cu, Fe, Mn, Pb e Zn às plantas foi avaliada através de estudo de correlação linear entre os teores obtidos no solo pela extratora com aqueles determinados nas plantas nos tratamentos que receberam BP e BC (Tabela 2.9).

Observa-se pelo índice de correlação linear que a solução extratora DTPA a pH 7,3 só não foi eficiente na predição do elemento Pb quando ao solo foi adicionado o BP.

Já com relação ao BC a mais forte correlação obtida foi a do Pb seguindo-se de correlação moderada para o Zn e o Cu. Para o Fe houve uma correlação negativa e baixa e para o Mn uma correlação positiva e baixa, portanto estes índices de correlação linear indicaram que a solução extratora DTPA não foi eficiente na predição da fitodisponibilidade destes elementos.

Boas correlações foram obtidas com a solução extratora DTPA para prever a fitodisponibilidade de metais. Oliveira e Mattiazzo (2001), utilizando biossólido alcalino na cultura de cana-de-açúcar, obtiveram correlação de 0,83 para o Cu e 0,65 para o Zn; Pires e Mattiazzo (2003), também utilizando biossólido alcalino na cultura do arroz, encontraram 0,92 para Cu e 0,93 Zn e Simonete e Kiehl (2002), trabalhando

com lodo ácido em experimento em casa de vegetação com milho, encontraram correlações para Cu, Fe, Mn e Zn de 0,87; 0,77; 0,65 e 0,89, respectivamente.

Tabela 2.9. Coeficiente de correlação linear simples entre o acúmulo de metal pelas plantas e os teores extraídos pelo extrator DTPA nos tratamentos que receberam o biossólido pasteurizado e caçado.

	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>			<b>µg kg<sup>-1</sup></b>	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>
<b>Biossólido pasteurizado</b>					
<b>DTPA</b>	0,8965***	0,7986***	0,9031***	-0,2153ns	0,9491***
<b>Biossólido caçado</b>					
<b>DTPA</b>	0,5266***	-0,4213***	0,4165***	0,8392***	0,6277***

\*\*\* indica que as correlações foram significativas a P<0,1% pelo teste t.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

Os tratamentos de higienização do lodo de esgoto foram eficientes, produzindo biossólidos de classe A, segundo a EPA CFR 40 part 503, e, portanto, sem restrições para sua utilização em agroecossistemas.

Os dois biossólidos promoveram aumentos significativos nos valores de matéria orgânica, P, Ca, Mg e na CTC do solo. No entanto, para o potássio não houve diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha, a qual já apresentava níveis adequados para a cultura do milho.

Embora o tratamento com biossólido caleado tenha levado a zero a acidez trocável e reduzido a acidez potencial, não houve diferença significativa entre este tratamento e a testemunha com relação à produção de matéria seca, possivelmente em função dos aumentos não desejáveis no pH (8,04) do solo.

O biossólido pasteurizado, mesmo tendo provocado a acidez do solo, proporcionou para a maior dose um ganho de 38% na massa seca em relação à adubação química.

A extratora DTPA foi eficiente na predição de Cu, Fe, Mn e Zn quando foram adicionadas doses crescentes de BP e, para o BC, foi eficiente para Cu, Pb e Zn.

Os teores dos metais pesados para os dois biossólidos não se encontram em níveis fitotóxicos.

O biossólido pasteurizado demonstrou ser uma fonte dos micronutrientes (ou metais pesados essenciais) para a cultura do milho.

O biossólido caleado embora tenha sido fonte dos micronutrientes, a planta apresentou níveis muito baixos de Mn, de tal forma que se recomenda considerar este biossólido, para fins de cálculo da dose a ser aplicada, não somente como um adubo orgânico, mas também como um corretivo de acidez do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com bio sólido. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p. 769-776, out./dez. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Amostragem de resíduos sólidos. Projeto 1.6302-004. São Paulo, 1985.
- ARAÚJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C. W. A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 29:977-985, 2005.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. de B. Propriedades químicas de um latossolo vermelho eutroférico após aplicação por dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1501-1505, 2002.
- BARCELAR, C. A.; ROCHA, A. A.; LIMA, M. R.; POHLMANN, M. Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atributos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico. **Scientia Agrária**, v. 2, 2001.
- BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. Efeito do Lodo de Esgoto na Comunidade Microbiana e Atributos Químicos do Solo. **Comunicado Técnico/Embrapa**. n. 24. 6 p. Dezembro, 2004, Jaguariúna, SP.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de bio sólido. II – Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 28, p. 557-568, 2004b.
- CARVALHO, P. C. T.; CARVALHO, F. J. P. C. Legislação sobre Bio sólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Bio sólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, 2002. Cap. 7, 209-226.

CASTRO, L. A. R. DE, ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E. S., TAMANINI, C. R.; FERREIRA, A. C. Efeitos do lodo de esgoto como recuperados de áreas degradadas com finalidade agrícola. In: **V Simposio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas**. Anais... jun., 2002.

CETESB. Coliformes totais e fecais – determinação pela técnica de tubos múltiplos. São Paulo, 1993. 39 p, Norma L5.202.

CEFS – Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia**. 2. ed., revisada, aumentada. CEPLAC / EMBRAPA / EPABA / NITROFÉRTIL, 176p.1989.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. 212 p. Rio de Janeiro, 1997.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 1, p. 15, Jan./March, 2006.

FERREIRA, D.F. **SISVAR** software: versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

FIA, R; MATOS, A. T. de; AGUIRRE, C. I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caleado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13, n.4, 287-299, out./dez., 2005.

FIA, R; MATOS, A. T. de; AGUIRRE, C. I. Produtividade e concentração de nutrientes e metais pesados em milho adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caleado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14, n.1, 39-50, jan./mar., 2006.

GALDOS, M. V., DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, n. 3. maio/jun. 2004.

- GAVALDA, D.; SCHEINER J.D.; REVEL, J.C.; MERLINA, G.; KAEMMERER, M.; PINELLI, E.; GUIRESSE, M. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat-dried sludge on an Alfisol. **Science of the Total Environment**. v. 343, p. 97 – 109, 2005.
- GUEDES, M. C. Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis*. 2005. 154 p. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- LUCHESE, E. B. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001.182 p.
- MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; TSUTIYA, M. T.; SOUZA, A. H. C. B. Desempenho de plantas de milho cultivadas em solos acrescidos de biossólido oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**: ABES/AIDIS. Porto Alegre, RS, 3 a 8 de dezembro de 2000.
- MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn E Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 27:563-574, 2003.
- MATTIAZZO, M. E.; BARRETTO, M. C. de V. Comportamento de Cd, Cu, Cr, Ni e Zn adicionados a solos em diferentes valores de pH. 1. Cádmio. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 25**. Viçosa. Anais. Viçosa: SBSC/UFV, 1995. p. 2379-2380.
- MELO, W. J., TSUTIYA, M. T., MARQUES, M. O.; SOUZA, A. C. B. Nível de fertilidade em solos tratados com biossólido oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo, e cultivados com milho. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2000.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V.P. Uso agrícola do Biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, 2002. Cap. 11, 289-263.

MENDONÇA, L. C. Desidratação térmica e desinfecção química com cal de lodo de reator anaeróbico de manta de lodo (uasb) tratando esgotos sanitários. 1999. 130 p. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

MILESTONE, Application Notes for Microwave Digestion, 1996.

NASCIMENTO, C. W. A., BARROS, D.A. S., MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28: 385-392, maio/jun. 2004.

NETO, A. E. F. Fertilidade do solo. (Ed.) NETO, A. E. F.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. Universidade Federal de Lavras/Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. Lavras, MG, 252p. 2001,

NOGUEIRA, A. R. de A. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. (Ed.) NOGUEIRA, A. R. de A.; Souza, G. B. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 313p. 2005.

OLIVEIRA, F. C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**, v.52, n.2, p.360-367, mai./ago. 1995.

- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.581-593, jul./set. 2001.
- OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do A.; MARQUES, V. dos S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 29: 109-116, 2005.
- PASCUAL, I.; ANTOLÍN, M. C.; GARCIA, C.; POLO, A.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Plant availability of heavy metals in a soil amended with a high dose of sewage sludge under drought conditions. **Biol Fertil Soils**, v. 40, p 291 – 299, 2004.
- PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; HAANDEL, A. C. van; GOUVEIA, J. P.G. de; LEITE, J. C. A. Doses crescentes de biossólidos e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v 5, n. 2 - 2º Semestre 2005.
- PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, M. L. de P.; FERREIRA, A. Qualidade do Lodo de esgoto utilizado na Reciclagem Agrícola na Região Metropolitana de Curitiba – PR I SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS. Anais... São Paulo, jun., 2003.
- PIGOZZO, A. T. J.; GOBBI, M. A.; SCAPIM, C. A.; LENZI, E.; LUCAS JUNIOR, J. de; BREDA, C. C. Disponibilidade de metais de transição no solo tratado com lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 26, n. 4, p. 443-451, 2004.
- PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Biosolids conditioning and the availability of Cu and Zn for rice. **Scientia Agricola**, v.60, n.1, p. 161-166, Jan./Mar. 2003.
- PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E.; BERTON, R. S. Ácidos orgânicos como extratores de metais pesados fitodisponíveis em solos tratados com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.671-676, jul. 2004.

- QIAO, X. L., LUO, Y. M., CHRISTIE, P.; WONG, M. H. Chemical speciation and extractability of Zn, Cu and Cd in two contrasting biosolids-amended clay soils. *Chemosphere*, v. 50, 823-829, 2003.
- RANGEL, O. J. P. Disponibilidade de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo cultivado com milho após a aplicação de lodo de esgoto. 2003. 88 p. Dissertação (Mestrado), Lavras: Universidade Federal de Lavras.
- ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 28:623-639, 2004.
- SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual de Métodos para Análise Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. ANDREOLI, C. V. (Coord.); BONNET, B. R. P. (Coord.). Curitiba, PR, 80p, 1998.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira) cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO 25**. Viçosa. Anais. Viçosa: SBSC/UFV, 1995. p. 2279-2281.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. p. 370, 1999.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E., BERTON, R. S., ZOTELLI, H. B., PEXE, C. A. e BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argilossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio 2001.

- SIMONETE, M. A. Alterações nas propriedades químicas de um argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho. 2001. 89 p. Tese de doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.
- TELES, R. C.; COSTA, A. N.; GONÇALVES, R. F. Produção de Lodo em Lagoas de Estabilização e o seu Uso no Cultivo de Espécies Florestais na Região Sudoeste do Brasil. **Sanare**, Vitória, v 12, jul./dez. de 1999.
- TOMÉ Jr., J. B.; **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001, 247 p.
- TRANNIN, I. C. de B.; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. de S. Avaliação agronômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, mar. 2005.
- TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. de C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. (Ed.) **Biossólidos na Agricultura**. 2ª ed., São Paulo, SP: ABES/SP, Cap. 4, 89-131. 2002.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Under 40 CFR Part 503 USEPA, 1992.

### **CAPÍTULO III - CONSIDERAÇÃO FINAL**

Diante dos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que o lodo de esgoto produzido na Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de Sergipe – DESO, localizada no Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas, apresenta potencialidades para o uso em agrossistemas, desde que o mesmo seja submetido a processos de higienização ou estabilização para a redução da densidade de patógenos.

## **ANEXOS**

Tabela A.1. Valores médios de pH, Al, H + Al, m, V e CTC nos tratamentos com o bioossólido pasteurizado e calcado, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância.

Dose	pH	Al	H + Al	m	V	CTC
<b>Bioossólido pasteurizado</b>						
0	5,67 A4	0,04 A1	10,42 A1	0,19 A1	66,56 A2	31,03 A1
9	5,16 A3	0,18 A1, A2	24,43 A2	0,73 A1	50,24 A1	49,08 A2
18	4,95 A2	0,32 A1, A2	27,03 A3	1,18 A2	50,14 A1	54,19 A3
27	4,82 A1	0,44 A2, A3	28,34 A3	1,46 A2	51,19 A1	58,03 A4
36	4,83 A1	0,62 A3	28,83 A3	1,97 A3	51,71 A1	59,64 A4
Média	5,10	0,32	23,82	1,11	54,00	50,39
C. V. (%)	0,97	69,35	7,28	72,20	3,48	4,61
<b>Bioossólido calcado</b>						
0	5,67 A1	0,04 A1	10,42 A1	0,19 A1	66,56 A1	31,03 A1
9	7,58 A2	0,00 A1	6,68 A1	0,00 A1	85,38 A2	45,48 A2
18	7,85 A3	0,00 A1	5,54 A1, A2	0,00 A1	89,30 A3	51,46 A3
27	7,98 A4	0,00 A1	4,56 A2	0,00 A1	91,83 A3, A4	55,34 A4
36	8,04 A4	0,00 A1	3,75 A3	0,00 A1	93,61 A4	57,80 A4
Média	7,43	0,008	6,19	0,038	85,30	48,22
C. V. (%)	1,00	471,40	24,57	471,47	3,18	4,79

Médias seguidas de A1, A2, A3, A4 e A5 na vertical diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela A.2. Valores médios de Ca, Mg, K, P, Na e matéria orgânica (M.O.) nos tratamentos com o bioossólido pasteurizado e caledado, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância.

<b>Dose</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Na</b>	<b>M.O.</b>
<b>Bioossólido pasteurizado</b>						
0	14,19 A1	3,73 A1	2,39 A1	17,23 A1	0,292 A1	10,77 A1
9	17,16 A2	4,57 A2	2,54 A1	32,83 A2	0,393 A2	13,68 A2
18	19,21 A3	5,00 A3	2,48 A1	51,45 A3	0,458 A3	14,74 A2, A3
27	20,92 A4	5,75 A4	2,48 A1	67,95 A4	0,539 A4	15,62 A3
36	21,29 A4	6,23 A5	2,50 A1	82,21 A5	0,605 A5	19,02 A4
Média	18,57	5,07	2,48	50,33	0,459	14,76
C. V. (%)	4,55	4,22	5,42	10,24	4,82	6,35
<b>Bioossólido caledado</b>						
0	14,19 A1	3,73 A1	2,39 A1	17,23 A1	0,292 A1	10,77 A1
9	29,19 A2	7,10 A2	2,24 A1	26,72 A2	0,272 A1	11,73 A1
18	33,31 A3	9,97 A3	2,34 A1	35,82 A3	0,300 A1	11,81 A1
27	34,98 A4	13,08 A4	2,38 A1	45,65 A4	0,332 A2	13,02 A2
36	35,93 A4	15,27 A5	2,30 A1	56,30 A5	0,354 A2	14,42 A3
Média	29,52	9,86	2,33	36,34	0,309	12,35
C. V. (%)	3,49	4,74	7,76	9,48	7,65	6,96

Médias seguidas de A1, A2, A3, A4 e A5 na vertical diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela A.3. Valores médios dos teores de metais extraídos pela solução extratora DTPA dos tratamentos com o biossólido pasteurizado e caleado, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância.

Dose	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
<b>Biossólido pasteurizado</b>						
0	0,413 A1	0,174 A1	26,936 A1	0,893 A1	6,673 A2	0,315 A1
9	0,419 A1	0,356 A2	28,090 A2	1,470 A2	4,958 A1	2,041 A2
18	0,475 A1A2	0,461 A3	28,180 A2	2,086 A3	4,978 A1	3,211 A3
27	0,498 A1A2	0,645 A4	28,588 A3	2,796 A4	4,722 A1	5,148 A3
36	0,579 A2	0,728 A5	28,698 A3	3,270 A5	4,535 A1	6,049 A3
Média	0,476	0,473	28,088	2,103	5,17	3,353
C. V. (%)	21,91	7,59	0,48	5,21	16,23	8,61
<b>Biossólido caleado</b>						
0	0,413 A1	0,174 A1	26,936 A4	0,893 A3, A4	6,673 A3	0,315 A1
9	1,289 A2	0,168 A1	20,704 A1	0,484 A1	2,745 A1	0,717 A2
18	1,827 A4	0,237 A2	22,482 A2	0,753 A2	3,010 A1	1,254 A3
27	2,021 A5	0,301 A3	23,326 A3	0,862 A3	3,089 A1	1,818 A4
36	1,592 A3	0,365 A4	23,958 A3	0,948 A4	4,240 A2	2,372 A5
Média	1,428	0,248	23,48	0,788	3,951	1,295
C. V. (%)	10,05	9,09	2,43	6,99	18,46	9,38

Médias seguidas de A1, A2, A3, A4 e A5 na vertical diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Tabela A.4. Valores médios de matéria seca (MS), Cu, Fe, Mn, Pb e Zn acumulados nas plantas, média geral e coeficiente de variação extraídos da tabela de análise de variância.

<b>Dose</b>	<b>M.S.</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Biossólido pasteurizado</b>						
0	5,39 A1	0,012 A1	0,301 A1	0,225 A1	20,857 A1	0,064 A1
9	6,69 A2	0,017 A2	0,346 A1	0,444 A2	65,428 A1	0,215 A2
18	7,83 A3	0,024 A3	0,414 A2	0,687 A3	156,866 A2	0,412 A3
27	8,61 A3	0,026 A3	0,469 A3	0,839 A3, A4	127,790 A2	0,447 A3
36	9,02 A4	0,033 A4	0,508 A3	0,969 A4	41,041 A1	0,587 A4
Média	7,54	0,022	0,407	0,633	82,39	0,335
C. V. (%)	6,41	14,14	10,55	19,73	45,55	9,04
<b>Biossólido calcado</b>						
0	5,39 A1	0,012 A1	0,301 A1	0,225 A4	20,857 A3	0,064 A2, A3
9	4,75 A1	0,017 A2	0,321 A3	0,024 A1	6,279 A2	0,047 A1
18	5,24 A1	0,017 A2	0,322 A3	0,035 A2	6,004 A2	0,055 A1, A2
27	5,26 A1	0,017 A2	0,277 A1, A2	0,038 A2, A3	6,000 A2	0,069 A3, A4
36	5,25 A1	0,020 A2	0,254 A1	0,048 A3	2,454 A1	0,075 A4
Média	5,16	0,016	0,289	0,069	7,918	0,060
C. V. (%)	10,25	23,06	12,26	13,25	29,75	14,62

Médias seguidas de A1, A2, A3, A4 e A5 na vertical diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)