

**ROSELI REGINA RAMBO BREMM**

**POTENCIAL DO LODO DE ESGOTO CALADO COMO INSUMO AGRÍCOLA  
PARA A CULTURA DO MILHO EM LATOSSOLO VERMELHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em **Engenharia de Sistemas Agroindustriais**.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Simone  
Damasceno

Co-orientador: Prof. Dr. Deonir Secco

**CASCADEL – Paraná – Brasil**

**Maio - 2005**

**ROSELI REGINA RAMBO BREMM**

**POTENCIAL DO LODO DE ESGOTO CALADO COMO INSUMO AGRÍCOLA  
PARA A CULTURA DO MILHO EM LATOSSOLO VERMELHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Damasceno Gomes  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Tereza Jordão Pigozzo  
UEM – Maringá - PR

Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 20 de maio de 2005.

## DEDICATÓRIA

*A Deus, pela Sua eterna presença em minha vida, guiando e iluminando meus passos mostrando-me os melhores caminhos e que me confiou mais esta missão.*

*Aos meus queridos Pais,*

*Joãozinho A. Rambo e Marli L. Rambo*

*Por todo o carinho, amor e dedicação sempre dispensados a mim, minha fonte de inspiração em todos os momentos de dificuldade e pelos quais possuo todo amor, respeito e eterna gratidão.*

*Ao meu amado esposo,*

*Ricardo Luiz Bremm*

*Meu amparo nas horas difíceis, sem o qual jamais teria chegado até onde hoje cheguei. Pela compreensão em meus momentos de angústia e por aceitar minhas ausências.*

*À nossa filhinha,*

*Rafaela Rambo Bremm*

*Anjo que aprendeu a compreender e aceitar, com toda a sua inocência, meus vários momentos de ausência.*

## AGRADECIMENTOS

Ao curso de Pós-Graduação da UNIOESTE, Campus de Cascavel, pela oportunidade e contribuição científica.

A minha orientadora, Simone Damasceno, pela orientação, estímulo e apoio prestado durante as etapas desenvolvidas.

Ao meu co-orientador, Prof. Deonir Secco, pelo apoio prático e teórico, dedicação, empenho e interesse em me apoiar no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Miguel A. U. Opazzo, pelo apoio nas análises estatísticas.

Ao Professor Márcio Antônio Vilas Boas, pelo apoio nas análises estatísticas, empenho e explicações ao longo do trabalho.

Ao amigo e colega Odilon Lopes de Meira, pelo qual possuo imenso carinho, meus eternos agradecimentos por todo o apoio prestado para o desenvolvimento desta pesquisa, pois me inspirou na decisão do tema e não mediu esforços para que o mesmo fosse viabilizado.

À Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, pelo apoio financeiro prestado para a realização de algumas análises referentes ao projeto.

Aos alunos do curso de Engenharia Agrícola, que me apoiaram em toda a parte prática do desenvolvimento da pesquisa.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1 Sistemas de tratamento de esgotos e tipos de biossólidos gerados..	03
2.2 Alternativas para destinação do lodo de esgoto.....	05
2.2.1 Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto.....	06
2.2.1.1 Biossólidos e metais pesados.....	09
2.2.1.2 Nutrientes e componentes orgânicos.....	19
2.2.1.3 Características microbiológicas.....	22
2.3 Culturas Recomendadas.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Local de desenvolvimento da pesquisa.....	25
3.2 Obtenção do lodo de esgoto.....	25
3.2.1 Caracterização do lodo de esgoto.....	27
3.2.1.1 Determinação dos parâmetros agronômicos.....	27
3.2.1.2 Determinação de Parâmetros Sanitários.....	28
3.2.1.3 Determinação de metais pesados.....	28
3.2.2 Higienização do lodo .....	29
3.3 Caracterização do solo.....	30
3.4 Tratamentos.....	31
3.5 Desenvolvimento da cultura no campo.....	35
3.5.1 Estatura da Planta.....	35
3.5.2 Diâmetro do Colmo.....	35
3.5.3 Número de Folhas.....	36
3.6 Componentes de Produção.....	36
3.6.1 Comprimento das Espigas.....	36
3.6.2 Diâmetro das Espigas.....	36
3.6.3 Massa de Grãos.....	36
3.6.4 Número de plantas por parcela.....	37
3.7 Caracterização do solo após o experimento .....	37
3.8 Dados Climatológicos.....	37
3.9 Análise Estatística.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Caracterização do solo.....	39
4.2 Análise de Metais Pesados.....	42
4.3 Desenvolvimento da cultura no campo.....	43
4.3.1 Estatura da Planta....	43
4.3.2 Diâmetro do Colmo.....	45
4.3.3 Número de Folhas.....	46
4.4 Componentes de Produção.....	48
5. CONCLUSÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valor limite de concentração de metais pesados em lodo de esgoto para a reciclagem agrícola .....	11
Tabela 2	Limite de patógenos presentes no lodo de esgoto para a reciclagem agrícola .....	22
Tabela 3	Eficiência no sistema de tratamento do esgoto da ETE Oeste.....	26
Tabela 4	Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no experimento.....	28
Tabela 5	Características microbiológicas do lodo bruto utilizado no experimento.....	28
Tabela 6	Teores de metais pesados no lodo de esgoto utilizado .....	29
Tabela 7	Eficiência da calagem a 50%.....	30
Tabela 8	Caracterização química do solo da área experimental.....	30
Tabela 9	Teor de metais pesados no solo.....	31
Tabela 10	Tratamentos empregados e quantidades de biossólido aplicadas.....	33
Tabela 11	Análise química básica de solo após a colheita.....	39
Tabela 12	Análise do teor de metais pesados presente no solo após a colheita.....	42
Tabela 13	Valores médios de metais adicionados ao solo através do biossólido.....	43
Tabela 14	Estatura da planta durante o desenvolvimento da cultura no campo.....	43
Tabela 15	Diâmetro do colmo durante o desenvolvimento da cultura no campo.....	45
Tabela 16	Número de folhas durante o desenvolvimento da cultura no campo.....	47
Tabela 17	Componentes de produção.....	49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Composição do esgoto doméstico.....	03
Figura 2	Diagrama do tratamento adotado na ETE Oeste.....	26
Figura 3	Leitos de secagem empregados na ETE-Oeste: (A) Esquema dos leitos de secagem em série; (B) Estágios iniciais de desidratação por infiltração de água; (C) Estágio avançado de secagem; (D) Lodo seco.....	27
Figura 4	Coleta de solo para análise de metais pesados e caracterização do solo na área experimental.....	30

Figura 5	Croqui do experimento.....	32
Figura 6	Croqui de uma unidade experimental.....	33
Figura 7	Área experimental, durante a incorporação do biossólido ao solo.....	33
Figura 8	Incorporação do biossólido ao solo nas parcelas.....	34
Figura 9	Precipitação pluviométrica durante a fase experimental.....	37
Figura 10	Temperaturas médias durante a fase experimental.....	38
Figura 11	Perfil da estatura das plantas ao longo do desenvolvimento.....	44
Figura 12	Perfil de diâmetro do colmo ao longo do desenvolvimento.....	46
Figura 13	Perfil de número de folhas ao longo do desenvolvimento.....	48
Figura 14	Produtividade de Grãos para os quatro blocos do experimento.....	50
Figura 15	Resultados teste de normalidade Anderson-Darling.....	50
Figura 16	Homogeneidade da Variância.....	51
Figura 17	Produtividades médias dos tratamentos.....	52
Figura 18	Análise de regressão das produtividades medias dos tratamentos que empregaram lodo de esgoto.....	53

## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

CV	Coeficiente de Variação
DAS	Dias após a semeadura
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMS	Diferença mínima significativa
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FC	Fator de Correção
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
LABFA	Laboratório Frischamnn Aisengart
NEEA	Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
NMP	Número mais provável



## RESUMO

O lodo de esgoto é um subproduto resultante do tratamento de esgotos que contém elevado teor de matéria orgânica e se, devidamente aplicado, pode conferir ao solo melhorias em relação a sua fertilidade. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial agrícola do lodo de esgoto como fertilizante na cultura do milho. O experimento foi realizado em campo, no ano de 2004, com delineamento experimental em bloco inteiramente casualizado, utilizando-se lodo de esgoto calado a 50% proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da SANEPAR – Cascavel – PR, com 6 tratamentos: a) Adubação convencional, b) Testemunha (sem adição de biossólido e sem adubação convencional), c) 2,5 Mg.ha<sup>-1</sup>, d) 5 Mg.ha<sup>-1</sup>, e) 10 Mg.ha<sup>-1</sup> e f) 15 Mg.ha<sup>-1</sup> base seca do biossólido, aplicado à cultura do milho em um Latossolo Vermelho distroférico típico. Foram coletadas amostras para análise química e teores totais de metais pesados no solo antes da instalação do experimento. Aos 20, 40, 60 e 80 dias após o plantio, foram avaliados os parâmetros de desenvolvimento da cultura no campo: estatura da planta, diâmetro do colmo e número de folhas. Após a colheita, foram avaliados os parâmetros: comprimento e diâmetro das espigas, número de plantas úteis por parcela e massa de grãos. Na data da colheita, foi coletada amostra de solo na camada de 0-20cm para avaliação do teor de Zinco e Cobre e análise química. Os resultados foram avaliados pelo *software* SISVAR.LNK versão 13.0 e Minitab,

sendo realizado o teste de Tukey para comparação de médias ao nível de 5% de significância. Observou-se que a adição de Cobre e Zinco via biossólido contribuiu com pequeno incremento nos teores destes no solo em função da concentração dos elementos no resíduo, bem como as baixas dosagens aplicadas, sendo que para os parâmetros de desenvolvimento da cultura, as melhores respostas foram obtidas nos tratamentos que empregaram o biossólido nas diferentes dosagens, quando comparados com a testemunha e adubação convencional. Para o diâmetro e comprimento das espigas e massa de grãos, a maior média foi obtida no tratamento que empregou 15 Mg.ha<sup>-1</sup> de biossólido.

Palavras-chave: Biossólido, milho, calagem, desinfecção, produtividade.

## ABSTRACT

The sewage sludge is a by-product resulting of the sewage treatment that contains high organic matter concentration and that, properly applied, it can to supply improvements in the soil fertility. The objective of this study was to evaluate the sewage sludge agricultural potential. The experiment was accomplished in field, in the year of 2004, with randomized blocks, utilizing sewage sludge with neutralization to 50% generated in the SANEPAR Wastewater Treatment Plant, Cascavel, Paraná, Brazil, with 6 treatments: a) mineral fertilizer, b) Control (without fertilization and without sewage sludge), c) 2,5, d) 5, e) 10 and f) 15 Mg.ha<sup>-1</sup> of dry sludge, applied to the corn culture in a dystrophic red latossol typical (LVd). Soil samples were collected before installation of experiment for chemical and heavy metal analysis. To the 20, 40, 60 and 80 days after the planting were appraised the parameters of the culture development in the field: stature and diameter of plants and number of leaves. After harvesting the production components were evaluated: length and diameter of spikes, number of useful plants and mass of grains. The soil samples were collected for evaluation of the heavy metals: copper and zinc and chemical analysis. The results were appraised for the software SISVAR.LNK version 13.0 and Minitab being accomplished with Tukey test for comparison of averages with 5% level significance. It was observed that the addition of Copper and Zinc through biossolid contributed with small increment in the tenors of

these in the soil in function of the concentration of the elements in the residue as well as the low amounts applied , and for the parameters of the culture development, the best answers were obtained in the treatments that used the sludge, when compared with the control and fertilizer mineral. For the length and diameter of spikes and mass of grains the largest averages were obtained in the 15 Mg.ha<sup>-1</sup> of sludge treatment.

Keywords: Biossolid, maize, neutralization, disinfection, productivity.



## INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação ambiental surgiu antes do início do século XX, entretanto, atitudes objetivas por parte dos governos só iniciaram-se timidamente nas últimas décadas, por causa dos crescentes impactos ambientais e degradação do meio ambiente.

Dos fatores susceptíveis de promover desequilíbrios no meio ambiente e bem estar social, o recurso natural água é certamente uma prioridade. Por isso, a consciência de que o tratamento das águas residuárias é de vital importância para a saúde pública e para a conservação dos mananciais. A água é um dos recursos naturais mais importantes para a saúde, bem estar da comunidade e desenvolvimento econômico e social, porém, uma vez fornecida à população, ela se transforma em esgoto e, se lançada diretamente em cursos d'água, provoca sua degradação com conseqüências na saúde da população.

Qualquer que seja o tipo de tratamento utilizado para o esgoto haverá geração de subproduto, genericamente denominado lodo de esgoto, que é um resíduo sólido de composição variável, contendo de 40 a 80% de matéria orgânica, cujo destino final é preocupação mundial, uma vez que, se disposto inadequadamente, pode prejudicar o solo e os recursos hídricos, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se em uma séria ameaça à saúde pública e ambiental. Por estas e outras razões, a eliminação imediata dos problemas com o lodo de esgoto doméstico, desde sua origem, seguida do tratamento e do destino final não é somente desejável, porém mais do que necessária para a sociedade.

Em muitos casos, principalmente em países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, os projetos de estações de tratamento ignoram a forma de destino deste material, o que implica em altos custos ambientais. Atualmente, a produção de lodo no Brasil está estimada entre 150 e 220 mil toneladas de matéria seca por ano ANDREOLI & PINTO (2001) e, devido ao crescimento populacional este número tende a ser cada vez maior. Apenas na cidade de

Cascavel, estima-se que, até o ano de 2015, 320m<sup>3</sup> de lodo estejam sendo gerados mensalmente.

Infelizmente, a realidade sanitária brasileira apresenta um quadro desalentador típico de um país subdesenvolvido, onde apenas 48% da população são servidos por rede coletora de esgotos, sendo que deste percentual, menos de 30% são tratados, o que implica no lançamento diário de 10 bilhões de litros de esgoto bruto no meio ambiente, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000). A perspectiva é que a coleta e o tratamento de esgoto seja uma nova prioridade no saneamento, principalmente com o objetivo de atender aos requisitos de proteção aos mananciais e à saúde pública.

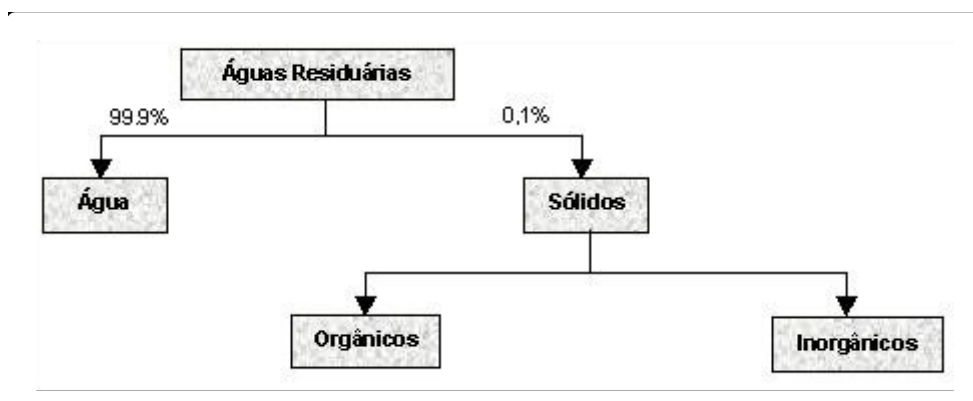
Leis atuais da legislação brasileira responsabilizam os produtores de resíduos pelos problemas ambientais que o destino inadequado dos mesmos possa vir a causar ao meio ambiente, sendo que os mesmos podem ser enquadrados na lei de crimes ambientais (Lei nº 9.605 de 12/02/98). Em contrapartida, políticas de redução de resíduos cobram das empresas de saneamento a reutilização e reaproveitamento destes resíduos, já que há vários usos para os mesmos. A Comunidade Européia veio a elaborar uma normativa proibindo aterros de resíduos recicláveis. Por esse motivo, alguns órgãos ambientais estão exigindo detalhamento da alternativa de disposição final no processo de licenciamento de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), representando, assim, um grande avanço na gestão ambiental do Brasil.

Devido aos problemas decorrentes do aumento da produção de lodo de esgoto e benefícios deste insumo para o solo, quando disposto de forma ambientalmente correta, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial agrícola do lodo de esgoto calado a 50% aplicado à cultura do milho, avaliando os parâmetros de desenvolvimento da cultura bem como os parâmetros de produtividade.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistemas de tratamento de esgotos e tipos de biossólidos gerados

Para que o esgoto não cause problemas ambientais, é necessário que o mesmo seja tratado antes do lançamento nos corpos receptores. Estes tratamentos são responsáveis pela concentração e remoção da matéria orgânica e demais poluentes, que constituirão o lodo de esgoto (Figura 1).



**Figura 1** Composição do esgoto doméstico.

Segundo SPERLING (1996), os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, sendo que a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos, e é por causa desta pequena fração de 0,1% que há necessidade de tratamento. De acordo com TSUTIYA (2001a), o processo de tratamento separa as impurezas presentes, produzindo lodos ainda na forma líquida e representa cerca de 1 a 2% do volume de esgoto tratado. Os custos com tratamento e disposição final do lodo podem situar-se entre 20 e 40% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgoto.

Na maioria das águas residuárias, o material orgânico presente no afluente é uma mistura de vários compostos que são classificados em duas categorias principais: material biodegradável, que são compostos passíveis da ação de microorganismos (portanto podem ser utilizados pela massa bacteriana) e o material não-biodegradável, compostos que não são passíveis da ação das bactérias durante o processo de tratamento, por não serem

afetados pela ação bioquímica das mesmas no período de permanência no sistema de tratamento TSUTIYA (2001a). De acordo com HAANDEL & CAVALCANTI (2001), cada uma destas frações pode ser subdividida em uma fração solúvel, compreendendo os compostos dissolvidos e, portanto, de fácil acesso para o metabolismo bacteriano, e uma fração particulada, composta de material coloidal e macroscópico que precisa ser hidrolisado antes de ser utilizado.

Na maioria dos sistemas de tratamento, o intenso contato entre os flocos do lodo e as partículas de material orgânico do afluente faz com que essas partículas sejam floculadas e passem a fazer parte da fase sólida, sendo posteriormente utilizadas pelas bactérias se forem biodegradáveis. As partículas não biodegradáveis irão se acumular no reator, formando a fração inerte do lodo, até que sejam descartadas como lodo de excesso.

Ao deixar a unidade de tratamento, o lodo de esgoto resultante contém uma carga significativa de microorganismos patogênicos, sendo que a origem da contaminação é principalmente em função do material fecal contido no esgoto e depende diretamente das características epidemiológicas da população local, bem como dos efluentes lançados na rede coletora.

Apesar deste conteúdo microbiológico das fezes ser diluído no esgoto, uma concentração elevada de microorganismos ainda está presente, e caso o destino final do lodo seja a reciclagem agrícola, faz-se necessário um processo de estabilização mais avançado, chamado também de processo de desinfecção ou higienização, cujo objetivo é atenuar o odor e o conteúdo de agentes patogênicos do lodo, parâmetros esses que possuem importância variável, de acordo com o destino final que se deseja dar para o resíduo.

Segundo ANDREOLI & PINTO (2001), o grau de estabilização do lodo ao deixar um sistema de tratamento de esgotos depende da tecnologia de tratamento utilizada, podendo ser na forma convencional de lodos ativados ou por tecnologias mais recentes, como reatores anaeróbios de fluxo ascendente tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

A desidratação do lodo é uma operação unitária cujo objetivo principal é a redução de volume, por meio da redução do teor de umidade proporcionando ainda uma melhoria no manejo do material, aumento do poder



calorífico bem como facilitar o transporte para o local de disposição final, sendo que a técnica de leitos de secagem é o método mais empregado no país.

Conforme GONÇALVES et al. (2001), drenagem e evaporação atuam no processo de desidratação, sendo que durante as primeiras 72 horas a drenagem é a responsável pela eliminação da grande maioria do líquido; após este período, o lodo adquire uma consistência pastosa e a perda de água passa a ser basicamente através da evaporação superficial.

## **2.2 Alternativas para destinação do lodo de esgoto**

De acordo com Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) a ser publicada\*, lodo de esgoto é um sedimento residuário dos sistemas de tratamento de efluentes urbanos, ao passo que o termo 'biossólido' é utilizado para designar os produtos orgânicos do sistema de tratamento de esgoto que podem ser usados de maneira benéfica. De um modo geral, no presente texto será designado de lodo o subproduto gerado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e de biossólido este subproduto já submetido ao processo de desinfecção, portanto livre de patógenos.

As alternativas tecnicamente aceitáveis para a reutilização do lodo de esgoto são muitas, sendo que as mais utilizadas são o uso agrícola, aplicação em áreas florestais, disposição em aterros, reuso industrial, recuperação de solos, incineração e landfarming. Conforme cita FERREIRA, ANDREOLI & JÜRGENSEN (1999a), a disposição oceânica como forma de disposição final para o lodo não será considerada, uma vez que este processo já não é mais utilizado por grande parte dos países e, a partir de 2005 será uma prática proibida.

No entanto, antes de optar sobre a forma e local adequado para disposição do lodo de esgoto, devem ser analisadas a produção e caracterização do lodo gerado, se há ou não a presença de esgotos industriais no sistema, no que se refere ao conteúdo de metais pesados presentes, à quantidade de lodo produzido e ainda às características especiais que possam vir a interferir com o sistema de disposição final. Segundo TSUTIYA (2001b), nos Estados Unidos 25% do lodo gerado são destinados ao uso agrícola, sendo que na Europa este número chega a 36%.

\* Informação: Instituto Ambiental do Paraná

### **2.2.1 Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto**

O solo é caracterizado por constituintes sólidos (fração composta pela parte mineral e orgânica), constituintes líquidos (provenientes das chuvas e irrigações) e os constituintes gasosos (provenientes de trocas gasosas com o ar e da atividade biológica do solo). Segundo MALAVOLTA (1981), a parte sólida se une formando 'agregados', responsáveis pela sua estrutura, característica física que muito influencia na facilidade de penetração das raízes, a percolação e a armazenagem da água no solo, a resistência à erosão e na porosidade. O teor de húmus (matéria orgânica) de um solo depende de uma série de fatores, mas é influenciado diretamente pelas técnicas de produção empregadas, sendo que resíduos orgânicos atuam no sentido de melhorar seu estoque de matéria orgânica.

De acordo com RAIJ (1991), a incorporação do lodo de esgoto ao solo é uma forma de adicionar matéria orgânica que, parcialmente transformada, terá repercussões positivas nas suas características físicas, químicas e biológicas:

- Ação nas propriedades físicas – a matéria orgânica favorece a formação de agregados; estabiliza a estrutura do solo, melhorando sua resistência à erosão e aumenta a capacidade de retenção de água.
- Ação nas propriedades físico-químicas – aumento da capacidade do solo em reter nutrientes minerais, o que permite melhor uso dos adubos convencionais, além do que, a matéria orgânica no seu conjunto (fresca ou estabilizada) fornece nutrientes para a planta e para os organismos do solo.
- Ação nas propriedades biológicas – a matéria orgânica é suporte e fonte de alimento para a flora e fauna, cuja atividade influi diretamente na nutrição mineral das plantas.

Tais benefícios refletem diretamente em produtividade, oferecendo aumentos na produção e economia no processo de adubação mineral. Além disto, a constante renovação da matéria orgânica é capaz de promover um armazenamento adequado de nutrientes que podem ser liberados para as plantas na forma adequada e no tempo certo, fazendo um ciclo que, sempre renovado, vai manter o solo com boa fertilidade.

LOURENÇO, ANJOS & MEDRADO (1996) aplicando 0; 17,5; 35; 52,5; e 70 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto à cultura do milho e do feijão, em uma mistura de Cambissolo Textura Média e Cambissolo Podzólico textura média argilosa, obtiveram aumento da produtividade de acordo com o aumento da dosagem de lodo, sendo que através de análise de regressão concluíram que a maior produtividade seria obtida com a dosagem de 66 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo para o milho e 43 Mg.ha<sup>-1</sup> para o feijão.

MIRANDA & BISCAIA (1996) utilizando doses de 2, 4, 6 e 60 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto calado em Cambissolo profundo observaram que o aumento da dose provocou aumento de aproximadamente 57% na produtividade da cultura do milho em relação à maior dose de lodo (60 60 Mg.ha<sup>-1</sup>) e a testemunha, chegando a 22% em relação à adubação convencional, sendo que mesmo na dose de 60 Mg.ha<sup>-1</sup> não foram observados sintomas de toxicidade no desenvolvimento da cultura do milho.

MARQUES et al. (1997) ao utilizarem lodo de esgoto calado nas dosagens de 2,5, 5,0 e 10 Mg.ha<sup>-1</sup> aplicados à cultura do milho como planta teste durante 2 anos consecutivos em Latossolo vermelho-escuro, com duas aplicações de lodo, não notaram influência do lodo sobre a produção de material seco de palha de milho no primeiro ano agrícola, sendo superiores no segundo ano agrícola. Observaram, ainda, favorecimento no desenvolvimento vegetativo das plantas e produtividade de aproximadamente 39% na dose e de 10 Mg.ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha no segundo ano agrícola, certamente devido a liberação gradativa de nutrientes através da degradação da MO e efeito desta como condicionadora de solo.

MELO et al. (1997) aplicaram lodo de esgoto calado nas doses de 2,5, 5,0 e 10 Mg.ha<sup>-1</sup> à cultura do milho por dois anos consecutivos, durante dois anos agrícolas em Latossolo Roxo, sendo que a maior produtividade foi obtida no tratamento que empregou 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de biossólido, diferindo de forma significativa (aproximadamente 20%) dos resultados obtidos com a adubação convencional.

SILVA et al. (1998b) utilizando lodo de esgoto calado nas dosagens de 10, 15 e 30 Mg.ha<sup>-1</sup> em Terra roxa estruturada obtiveram aumento de produtividade da cana-de-açúcar de acordo com o aumento da dosagem de lodo.

KUAI, DOULAMI & VERSTRAETE (2000) analisaram o desenvolvimento de plantas de milho empregando lodo de esgoto tratado com polímero, conseguindo uma produtividade significativamente maior (aproximadamente 20%) que a observada na adubação química convencional.

SIMONETE & KIEHL (2002) avaliaram as doses de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo bruto em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico, obtendo aumento na produção de matéria seca das plantas de milho com a ampliação da dose de lodo.

MARTINS et al. (2003) observaram, durante 4 anos consecutivos, o efeito da adição de lodo de esgoto bruto com e sem calcário na produção de grãos em 40, 60 e 80 Mg.ha<sup>-1</sup> em Latossolo Vermelho distrófico típico, observando que a produção de grãos e de massa seca de milho aumentou linearmente com a adição de lodo de esgoto em relação a testemunha (sem lodo e sem adubação convencional), relacionando principalmente ao fornecimento de nutrientes às plantas, como o N, P, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn.

BREDA (2003) utilizando 0, 10, 20, 30, 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e adubação convencional em Nitossolo Vermelho Distroférico notou que a aplicação de doses crescentes de lodo proporcionou aumentos de altura, diâmetro de colmo e número de folhas em plantas de milho, quando comparadas com a testemunha e adubação convencional. Em relação à produtividade, os maiores valores foram obtidos com o tratamento que empregou 10 Mg.ha<sup>-1</sup>, sendo a média 3,83% superior ao tratamento que empregou adubação convencional.

Segundo NASCIMENTO et al. (2004), dentre os efeitos do lodo de esgoto sobre as propriedades físicas de dois solos: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média e Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa, condicionadas principalmente pela presença de matéria orgânica, destacam-se a melhoria do estado de agregação das partículas do solo, com conseqüente diminuição da densidade e aumento na aeração e retenção de água. Observaram expressivos aumentos nos teores de matéria orgânica dos solos, superiores a 50%. Houve aumento de produção de matéria seca das plantas, o que era esperado devido aos efeitos do lodo sobre teores de N e P principalmente.

BARBOSA, TAVARES & FONSECA (2003) citam que a aplicação de lodo de esgoto no solo aumenta a capacidade de infiltração e retenção de água, devido ao aumento da porosidade total do solo e da diminuição da sua densidade, aumento do teor de matéria orgânica e a formação de agregados das partículas do solo.

Os fatores de risco devido aos biossólidos podem ser divididos em temporários (odor, salinização, poluição das águas, organismos patogênicos) e a longo prazo (metais pesados e contaminantes orgânicos). Quanto ao odor, não existem diretrizes específicas, no entanto, os biossólidos devem ser estabilizados a distâncias mínimas de residências, sendo que os requisitos de incorporação do biossólido ao solo devem ser bem definidos. Para a salinidade, assim como no caso do odor, não existem diretrizes específicas, porém há certa preocupação quanto ao seu uso em solos de clima áridos ou semi-áridos. Com o objetivo de não poluir as águas, os biossólidos devem ser aplicados estabilizados, com taxas de aplicação em função de nutrientes e metais pesados. Em relação às características químicas de um lodo de esgoto, os principais são: metais pesados, nutrientes e compostos orgânicos.

Segundo cita ILHENFELD, PEGORINI & ANDREOLI (1999b), os principais fatores inerentes ao lodo indispensáveis na avaliação do seu potencial para uso na agricultura são: o conteúdo de metais pesados, o perfil sanitário, o valor agronômico, o teor de umidade, a consistência e a estabilidade do resíduo, os quais dizem respeito principalmente à redução na atração de vetores como insetos e roedores. Uma vez detectada a presença de metais pesados, a retirada torna-se tanto técnica quanto economicamente inviável ao passo que o conteúdo de agentes patogênicos pode ser fácil e significativamente alterado com diferentes sistemas de desinfecção.

### **2.2.1.1 Biossólidos e metais pesados**

Metais pesados são elementos químicos que possuem peso específico maior que  $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ou número atômico maior que 20. Entretanto, o termo metais pesados é utilizado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não-metais, como o selênio. De acordo com MARQUES, MELO & MARQUES (2001), os principais elementos químicos enquadrados

neste conceito são: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco. Esses elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações inferiores às consideradas como tóxicas para diferentes organismos vivos, sendo que o arsênio, o cobalto, o cromo, o cobre, o selênio e o zinco são essenciais para os organismos vivos.

CHANG, HYUN & PAGE (1997), em amplo estudo sobre a fitodisponibilidade do potencial tóxico de metais para plantas cultivadas em solos que receberam doses anuais de lodo por aproximadamente 10 anos, constataram que a absorção de metais pelas plantas é pequena e geralmente inferior a 1% da quantidade adicionada via lodo de esgoto. Ainda segundo os autores, em relação ao comportamento de metais no solo existem duas teorias conhecidas como: teoria de Platô e a da bomba relógio.

A teoria de Platô considera que a capacidade de adsorção de um metal é constante, enquanto o metal persistir no solo e que durante esta permanência prevalecem formas do elemento que se caracterizam por não serem totalmente disponíveis às plantas. Essa indisponibilidade dos metais é atribuída ao biossólido, o qual atuaria como causa e regulador da disponibilidade, ao mesmo tempo e, segundo a teoria de platô, quando se procede a inúmeras aplicações de biossólido, os teores acumulados nas plantas aumentam até que se atinjam determinados valores e se estabilizam.

A teoria da bomba relógio considera que a capacidade de adsorção de um determinado metal no solo tende a aumentar com a adição de biossólidos, em decorrência dos acréscimos nos teores de matéria orgânica. Porém, estes incrementos na capacidade de adsorção tenderiam a regredir aos níveis iniciais em consequência da decomposição da matéria orgânica adicionada e da interrupção das aplicações de biossólidos, condição esta em que os níveis de metais, em formas disponíveis nos solos, seriam aumentados, colocando em risco o ambiente e podendo inclusive entrar na cadeia alimentar.

De acordo com MARQUES, MELO & MARQUES (2001), solos que naturalmente contêm elevados teores de metais pesados podem ser submetidos a técnicas que permitem o cultivo, sem que haja a contaminação das plantas além dos limites permitidos pela legislação. Para isso, os parâmetros a serem controlados seriam a matéria orgânica e o pH do solo,

sendo que a planta a ser cultivada seria outro fator a ser considerado. Os mesmos autores citam que a elevação no pH do solo, de uma unidade, promove alterações de 100 vezes em suas disponibilidades, reduzindo a do cobre e do manganês e aumentando a do molibdênio. De uma maneira geral, a manutenção do pH do solo em níveis próximos à neutralidade tem sido o procedimento mais adotado para o controle da disponibilidade de metais pesados nos solos.

A toxicidade exercida por metais pesados em plantas é demonstrada somente quando os elementos ou resíduos orgânicos contaminados são incorporados nos solos em doses elevadas. De maneira geral, em solos calcários, cerca de 1% do total de metais incorporados através do lodo de esgoto são absorvidos pelas plantas MARQUES, MELO & MARQUES (2001).

De acordo com Normativa para Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto do IAP, os metais a serem monitorados no solo são sete: cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, sendo que para cada um desses há um limite de concentração tanto no solo quanto no biossólido. No que se refere ao solo, além da análise de aptidão do mesmo para avaliação da possibilidade de incorporação do biossólido, o teor de metais pesados deve ser avaliado em relação à carga cumulativa em um período de 10 anos(Tabela 1).

**TABELA 1** Valor limite de concentração de metais pesados em lodo de esgoto para a reciclagem agrícola

<b>Elemento</b>	<b>Teor limite<sup>1</sup> (mg.kg<sup>-1</sup> de MS)</b>	<b>Limite de Alerta<sup>2</sup> (mg.kg<sup>-1</sup> de MS)</b>	<b>Valores limites<sup>3</sup> (mg.kg<sup>-1</sup> de MS)</b>
<b>Cd</b>	20	10	1,0
<b>Cu</b>	1000	700	50,0
<b>Ni</b>	300	200	30,0
<b>Pb</b>	750	500	50,0
<b>Zn</b>	2500	2000	150,0
<b>Hg</b>	16	10	1,0
<b>Cr</b>	1000	500	100,0

Fonte: Instrução Normativa para Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto (IAP); Fernandes et al., 1999; 1 – Teor limite em lodo de esgoto para reciclagem agrícola; 2 –Limite de alerta em lodo de esgoto para reciclagem agrícola; 3 – Valor limite em solos agrícolas para incorporação do lodo de esgoto

Dentre os metais a serem monitorados tanto no solo quanto no lodo, segundo RAIJ (1997), o níquel e o cromo são tóxicos principalmente para as

plantas, o cádmio é tóxico para as plantas e animais, inclusive o homem, e o chumbo é tóxico para o homem.

BIDWELL & DOWDY (1987) estudaram durante 6 anos a disponibilidade de Cd e Zn para a cultura do milho após 3 aplicações anuais de lodo de esgoto, observando aumento significativo dos teores de Zn nos colmos e grãos, com o teor nos colmos aumentando linearmente com as aplicações.

Já BERTI & JACOBS (1996) analisaram a fitotoxicidade dos metais pesados em áreas que receberam durante um período de oito anos repetidas aplicações de biossólidos, cultivando a cultura do milho. Notaram menor rendimento em tratamentos onde o biossólido foi aplicado em taxas de 240, 690 e 780 Mg.ha<sup>-1</sup> atribuindo esta redução à concentração fitotóxica de metais, provavelmente Zn e Ni, uma vez que com a extração seqüencial constataram que tais metais encontravam-se em frações potencialmente disponíveis à absorção pelas plantas.

JARAUSCH-WEHRHEIM, MOCQUOT & MENCH (1996) estudaram a translocação e absorção do cobre na cultura do milho, nas dosagens de 10 e 100 Mg.ha<sup>-1</sup> durante 20 anos, avaliando a planta em seis estágios de crescimento. Observaram, na colheita, que a concentração de Cu nos grãos ficou abaixo do limite considerado tóxico pela legislação vigente.

MIRANDA & BISCAIA (1996), em Cambissolo profundo, experimentaram doses de 2, 4, 6 e 60 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo calado, base seca, a fim de analisar o impacto no solo e a produtividade da cultura do milho. O aumento da dose não causou sintomas de toxicidade nas plantas. Não houve alterações significativas no teor de Cu e Zn no solo que permaneceram praticamente iguais para o Cu, apresentando uma redução no teor em relação ao Zn, comparando com a testemunha.

FERNANDES & ANDREOLI (1997) utilizaram lodo de esgoto aeróbio e anaeróbio, aplicando em culturas em tubos de PVC a fim de analisar a lixiviação de metais pesados em diferentes camadas do solo, em três condições de pH: natural, 5,0 e 6,5, com as dosagens de 5, 50 e 100 Mg.ha<sup>-1</sup> durante 12 meses. Dentre os metais analisados (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn), apenas a concentração de zinco aumentou até a camada de 5 a 10cm no solo com pH inferior a 5,8, sendo que a lixiviação de Zn em solos de pH mais alto foi mínima.



SILVA et al. (1998a) citam que em solos ácidos (pH 4.2 a 6.6) Cd e Zn são relativamente móveis, porém Cu e Pb são de baixa mobilidade. Em solos neutros a alcalinos (pH 6.7 a 7.8) Cd e Zn possuem mobilidade moderada, porém Cu e Pb não possuem mobilidade. Citam, também, autores que dizem que a matéria orgânica aparece no papel de controladora da absorção de elementos traços pelas plantas, dependendo se ela for solúvel ou insolúvel.

SILVA et al. (1998b), ainda, utilizaram lodo de esgoto calado em Terra Roxa Estruturada nas dosagens de 10, 15 e 30 Mg.ha<sup>-1</sup> aplicando na cultura da cana-de-açúcar observando aumento no teor de Cu e Zn nas folhas.

JARAUSCH-WEHRHEIM, MOCQUOT & MENCH (1999) estudaram a translocação e absorção do zinco na cultura do milho, nas dosagens de 10 e 100 Mg.ha<sup>-1</sup> durante 20 anos, avaliando a planta em seis estágios de crescimento. Segundo os autores, depois da planta ter absorvido um alto teor de zinco observou-se um decréscimo na concentração em todas as partes analisadas durante o crescimento da cultura, concluindo que a planta de milho absorveu somente uma quantia relativamente baixa de zinco, não havendo translocação de metal para os grãos.

SALLES & DESCHAMPS (1999), avaliaram o efeito dos teores de metais pesados nos frutos de macieira (*Malus domestica*) durante 1 ano, não observando diferença nos teores de metais pesados nos frutos em relação a testemunha.

ANJOS & MATTIAZZO (2000) em experimento em vasos com Latossolo Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico, mediram o teor de metais em plantas de milho. O Cd, Cr, Ni e Pb estavam abaixo do limite de detecção do método empregado. O Cr foi detectado somente no sabugo e o Cu em todas as partes da planta (folhas, grãos e colmo), porém dentro do limite para a cultura, sendo que os maiores teores foram encontrados nas folhas e os menores nos grãos. Já os teores de Zn encontrados em todas as partes das plantas de milho nos tratamentos com biossólido foram maiores, o que evidencia que a adição do resíduo promoveu maior disponibilidade do elemento. Considerando que o aumento da quantidade de Zn absorvida pelas plantas foi devido ao biossólido, os autores concluíram que a quantidade absorvida deste elemento representou 0.01% da quantidade adicionada em ambos os tratamentos com o resíduo.

ANDRADE & MATTIAZZO (2000) utilizaram lodo de esgoto anaeróbio calado para avaliar o teor de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo com plantio de *Eucalyptus grandis* não observando alterações na concentração total do Cu 360 dias após a aplicação do biossólido. Para o Zn houve efeito significativo das doses aplicadas sobre o teor de Zn até a profundidade de 0.3 a 0.6m, porém abaixo do intervalo de concentração considerado tóxico.

MARQUES, MOREIRA & SIQUEIRA (2000) estudaram espécies arbóreas cultivadas em vasos com Latossolo Vermelho-escuro contaminado com metais pesados, avaliando o teor de metais e o crescimento de mudas de 20 espécies observando que algumas tiveram grande inibição pela contaminação do solo causado pela absorção, na maioria dos casos, de Zn e Cd. Porém reteram estes metais nas raízes, evitando a translocação para a parte aérea.

SILVA et al. (2001) utilizaram 0, 20 e 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto calado em Argissolo Vermelho-Amarelo, à cultura da cana-de-açúcar, observando que os teores de Zn e Cu, inicialmente médios, passaram a ser considerados valores altos.

OLIVEIRA & MATTIAZZO (2001a) pesquisaram a mobilidade de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em Latossolo Amarelo distrófico tratado com aplicações sucessivas de lodo de esgoto de 1996 a 1998, em profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-0,8m aos 360 dias após a incorporação. Para o Cu não houve aumento em seus teores nas camadas abaixo de 0,2m, cuja imobilidade foi atribuída à formação de complexos organo-metálicos estáveis e de baixa solubilidade e ainda devido a sua ligação a frações não trocáveis do solo. Para o Zn foram observados aumentos nos teores totais no solo em função das doses de lodo até a camada de 0,2 a 0,4m no primeiro ano agrícola. Porém, no segundo ano agrícola esses aumentos foram observados até a camada de 0,4-0,6m, sendo estes valores superiores a 43% em relação à testemunha, evidenciando assim a movimentação do zinco pelo perfil do solo, o que provavelmente se deu em função da elevada acidez do solo (pH=4,5), uma vez que a mobilidade do Zn aumenta com o aumento da acidez, bem como em função da quantidade alta de chuvas ocorridas nos dois anos experimentais.

OLIVEIRA & MATTIAZZO (2001b) em outro estudo em Latossolo Amarelo distrófico avaliaram a disponibilidade de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em

um Latossolo Amarelo distrófico tratado com aplicações sucessivas de lodo de esgoto de 1996 a 1998 na cultura da cana-de-açúcar. Em relação ao Cd, Cr, Ni e Pb seus teores estavam abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado. Verificaram que em relação aos teores de Cu e Zn nas amostras das plantas, não foram proporcionais aos aumentos que houve nos teores totais destes metais no solo, seguindo a teoria de platô.

CHE FAUZIAH, ROSENANI & ROSAZLIN (2002) em experimento realizado entre 1995 e 1999, utilizando 42 e 28 Mg.ha<sup>-1</sup> avaliaram a absorção de metais pelas plantas de milho e contaminação do solo. Não notaram diferença significativa nas concentrações de Cd, Cu, Ni, Pb e Zn nos grãos de milho. Apesar da alta concentração de Cu e Zn no lodo, a absorção nos grãos foi de aproximadamente 1%.

OLIVEIRA et al. (2002) em experimento em campo entre 96 e 98 avaliaram o efeito de aplicações sucessivas de composto de lixo urbano sobre a movimentação de Cd, Cr, Cu, Ni, Pr e Zn nas camadas 0,3, 0,6 e 0,9m de um Latossolo Amarelo distrófico. Para o Cd, Ni e Pb não foram detectados por estarem abaixo do limite mínimo de detecção, ao passo que para o Cu e Cr foram verificados incrementos apenas na camada de 0 a 0,2m. A imobilidade do Cu normalmente é atribuída à formação de complexos organometálicos estáveis de baixa solubilidade e à ligação do metal às frações não trocáveis do solo, a chamada fração residual e a óxidos de Fe e Mn. Outro fato a ser considerado é o aumento do pH do solo em consequência da aplicação do composto de lixo, que favorece reações de precipitação e complexação dos metais, reduzindo sua solubilidade e mobilidade. Em relação ao zinco houve aumento até a camada de 0,2 a 0,6, portanto ocorrendo movimentação desse elemento no perfil do solo. A movimentação do zinco também foi observada em solos tratados com lodo de esgoto, e está relacionada a sua presença no solo, predominantemente em formas trocáveis e portanto facilmente solúveis. Ainda segundo (OLIVEIRA et al, 2002) além de ter sido adicionado em grande quantidade, sua lixiviação pode ter sido favorecida pela acidez do solo, o que estimula sua ocorrência em formas trocáveis e solúveis.

SIMONETE & KIEHL (2002) avaliaram a fitodisponibilidade e extração de metais em doses de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo bruto obtido por digestão anaeróbia para partes aéreas de plantas de milho em Argissolo

Vermelho Amarelo eutrófico, levantando a questão de que a contaminação causada por metais pesados nos solos tratados com lodo de esgoto tem sido avaliada pela concentração total desses metais no solo, no entanto o fato do metal estar presente no solo não significa que esteja numa forma prontamente assimilável pelas plantas, podendo permanecer por longos períodos sem ser absorvido em quantidades tóxicas. Em levantamento bibliográfico realizado pelos autores, estudos têm demonstrado não haver correlação entre o teor total de metais no solo e sua fitotoxicidade. O acúmulo de Cd, Cr, Ni e Pb na parte aérea das plantas de milho esteve abaixo do limite de detecção do método empregado, havendo efeito da aplicação das doses de lodo de esgoto no acúmulo de Fe, Mn e Cu pelas plantas. O Cu e Fe apresentaram um comportamento linear crescente com as doses do resíduo enquanto que para o Mn a adição promoveu aumento quadrático com tendência crescente. Para o Zn, a quantidade acumulada pelas plantas aumentou com a dose de lodo. Os valores de Fe e Cu apresentaram-se dentro dos intervalos considerados adequados para as plantas de milho, no entanto para o Mn e o Zn os teores apresentaram-se acima da faixa considerada aceitável para consumo, o que sugere que a aplicação de lodo durante vários anos poderá apresentar problemas relacionados com fitotoxicidade.

BHOGAL et al. (2003) estudaram a disponibilidade de Zn, Cu, Ni e Cr em dois solos anteriormente tratados com lodo naturalmente contaminado com Zn, Cu, Ni e Cr, bem como com lodo enriquecido com sais de Zn, Cu e Ni. Concluíram que quando se aplicam metais artificialmente no lodo há uma diferença significativa do metal naturalmente presente no mesmo, uma vez que ele pode estar presente em diferentes formas. No lodo contaminado naturalmente o Zn e o Cu causaram uma considerável redução no rendimento de cereais e legumes, fato não observado no solo em que os metais foram adicionados ao lodo.

MARTINS et al. (2003) observaram durante 4 anos consecutivos o efeito da adição de lodo de esgoto bruto com e sem calcário na produção de grãos e massa seca da parte aérea e na absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em Latossolo Vermelho distrófico típico. O Zn foi o elemento que mais teve sua concentração elevada em resposta à adição de lodo de esgoto, com ou sem calcário, uma vez que as concentrações foliares aumentaram

linearmente dentro das doses de lodo, porém dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho. O Cu foi o menos afetado pela adição de lodo, o que se deve provavelmente à forte quelação que esse metal sofre pela matéria orgânica e pelo antagonismo que ocorre entre o Cu e o Zn na solução do solo. Mesmo com as altas quantidades de metais adicionadas ao solo com o lodo de esgoto, as concentrações de Cu, Fe, Mn e Zn nos grãos de milho ficaram abaixo dos limites máximos permitidos para contaminantes químicos em alimentos. A calagem foi eficiente em reduzir a absorção de Zn, Fe e Mn e não afetou a absorção de Cu pelo milho, revelando-se como prática importante na prevenção da acumulação excessiva de metais pesados em plantas cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto.

PIRES & MATTIAZZO (2003) avaliaram a disponibilidade de Cu e Zn na parte aérea da cultura do arroz (*Oryza sativa L.*), utilizando 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto calado. Concluiu que com valores de pH em torno de 7, a forma predominante de Cu no solo é Hidróxido de Cobre, a qual não é disponibilizada para a planta. Quando o pH aumenta, a disponibilidade de cobre na planta é reduzida. Ainda segundo os autores, com maiores valores de pH, a coprecipitação de zinco com ferro e óxido de alumínio é favorecido pelo decréscimo na sua disponibilidade. Segundo os autores, o mecanismo de absorção de zinco e cálcio é o mesmo, devido a isso um aumento na concentração de cálcio no solo diminui a absorção de zinco pela planta.

PIGOZZO (2003) avaliando o comportamento de metais pesados na planta e no solo bem como a produtividade em duas aplicações sucessivas de lodo de esgoto aplicando a cultura do milho nas dosagens de 6, 20, 40, 60 e 80 Mg.ha<sup>-1</sup> durante quatro safras agrícolas em Latossolo Vermelho distrófico verificou aumento nos valores médios dos teores totais de Cr, Cu, Pb, Zn e Ni encontrados no solo nos dois anos agrícola e em todas as doses aplicadas. Na planta e grãos não foram detectadas translocações dos metais Cd, Cr, Ni, Pb sendo que para o Cu e Zn as quantidades observadas nas maiores dosagens foram pequenas, não trazendo riscos para o consumo humano. Considerou pequena a quantidade de Cu e Zn exportados da área de semeadura pelos grãos, continuando a possibilidade de contaminação do solo com o tempo em aplicações sucessivas de lodo e concluiu que o cobre tende a acumular-se mais nas folhas e raiz que nos grãos.

NASCIMENTO et al. (2004) aplicando lodo bruto 0, 10, 20, 30, 40 e 60 Mg.ha<sup>-1</sup>, à cultura do milho observaram que o Zn foi o elemento que apresentou maior incremento de absorção com o aumento da dose de lodo, devido a sua alta concentração no resíduo.

BORGES & COUTINHO (2004) estudaram a fitodisponibilidade de metais em dois tipos de solo: Neossolo Quartzarêmico órtico típico – NQ e Latossolo Vermelho eutroférico argiloso – LV tratados com lodo de esgoto em 0, 10, 20, 40 e 60 Mg.ha<sup>-1</sup> em casa de vegetação, observando que maiores teores de Cu foram extraídos no LV em relação ao RQ, o que pode ser atribuído aos diferentes materiais de origem, textura, composição química e mineralogia dos solos. Foram observados aumentos lineares dos teores de Cu de acordo com as doses de biossólido na fração orgânica de ambos os solos, sendo que a aplicação de corretivos proporcionou diminuição significativa dos teores de Cu na fração orgânica dos dois solos. SIMS & KLINE (1991) também observaram diminuição do teor de Cu na fração orgânica, com elevação do pH do solo seguida de aumentos nas frações de óxidos e residual. Segundo BASTA, PANTONE & TABATAL (1993) o pH foi o principal atributo que contribuiu para o aumento da adsorção do metal na fase sólida do solo. Verificou-se pelos resultados, que o Cu pode ter sido mais adsorvido na fração mineral do solo em valores mais elevados de pH. Para o Zinco foram verificados aumentos lineares dos teores de acordo com as doses de biossólido em todas as frações. Autores citados por BORGES & COUTINHO (2004) atribuíram o aumento do Zn na fração orgânica, após adição de corretivos, ao aumento da complexação desse elemento pela matéria orgânica com a elevação do pH.

Em experimentos de campo com a disposição de elevadas doses de lodo e esgoto, monitorados por períodos de 9,14 e 12 anos respectivamente, a imobilidade do Cu foi observada nos estudos de WILLIAMS et al. (1987), DOWDY et al. (1991) e CHINO et al. (1992), a qual foi atribuída à formação de complexos organo-metálicos estáveis e de baixa solubilidade TAYLOR et al. (1995). Segundo WILLIAMS et al. (1987) e CHINO et al. (1992), em condições de pouca ou nenhuma acidez e elevados teores de matéria orgânica, a presença do zinco em solução e outras formas facilmente lixiviáveis é bastante reduzida.

Desta maneira, pelos trabalhos apresentados, realizados entre 1 e 20 anos com dosagens que variaram entre 2 e 780 Mg.ha<sup>-1</sup>, demonstra-se que mesmo nas maiores dosagens de lodo de esgoto os níveis de metais absorvidos pelas plantas encontraram-se abaixo dos limites considerados tóxicos para as culturas analisadas, sendo que foram detectados elementos traço no solo até a camada de 0,2m. Mesmo em solos que contenham, naturalmente, elevados teores de metais pesados o lodo pode ser aplicado desde que os parâmetros matéria orgânica e pH do solo sejam controlados, sendo que a cultura a ser cultivada seria outro fator limitante. Em relação ao comportamento de metais no solo, duas teorias foram observadas por alguns autores: a teoria de platô e a teoria da bomba relógio, sendo que a presença de metais no solo não significa que os mesmos estejam em uma forma prontamente assimilável pelas plantas, podendo permanecer por longos períodos sem serem absorvidos em quantidades tóxicas, uma vez que não há correlação entre o teor total de metais e sua fitotoxicidade.

### **2.2.1.2 Nutrientes e componentes orgânicos**

Os biossólidos contêm matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida nos biossólidos pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão, conforme citado anteriormente. Os biossólidos contêm macro e micronutrientes, os quais têm impacto direto no desenvolvimento e rendimento das plantas:

- **Nitrogênio**

O nitrogênio que provém dos dejetos e da massa microbiana dos esgotos, geralmente é um dos constituintes de maior valor do biossólido, podendo ser utilizado como fator limitante para definição da dosagem máxima a ser aplicada no solo, pois acima de certo nível, o nitrogênio pode lixiviar em forma de nitrato e contaminar o lençol freático.

Os biossólidos contêm cerca de 1 a 6% de nitrogênio (base seca) na forma orgânica e inorgânica, que é composto pelo nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub>), nitrato e nitrito (NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>). Para os lodos digeridos anaerobicamente, cerca

de 30 a 60% do total de nitrogênio está presente na forma de nitrogênio amoniacal, entretanto, para lodo digerido aerobicamente este valor passa a ser apenas de 5 a 20%. Segundo TSUTIYA (2001a), o nitrogênio amoniacal e o nitrato são totalmente disponibilizados para as plantas, enquanto que o nitrogênio orgânico deve passar por mineralização microbiológica antes de ser absorvido e, de acordo com VANZO, MACEDO & TSUTIYA (2001) o nitrogênio na sua forma orgânica tende a ser mineralizado a uma taxa média de 20% ao ano, e sob esta forma o mesmo não é lixiviado.

- **Fósforo**

Os bio sólidos, de um modo geral, contêm quantidades de fósforo um pouco menor do que de nitrogênio. Entretanto, segundo ANDREOLI, FERNANDES & DOMASZAK (1997), as plantas para o seu desenvolvimento necessitam de maiores quantidades de nitrogênio do que de fósforo, e a disponibilidade deste macronutriente é de 50% no primeiro ano de aplicação do bio sólido.

- **Potássio**

Conforme MELO, MARQUES & MELO (2001), o teor de potássio no solo pode chegar a mais de 1%, mas a maior parte dele se encontra em forma não disponível para as plantas. Nos bio sólidos a concentração de potássio é muito pequena, pois esse elemento é altamente solúvel em água e durante o processo de tratamento de esgoto fica dissolvido no efluente líquido. Porém, mesmo apresentando baixos teores de potássio, 100% deste nutriente são considerados assimiláveis pelas plantas.

- **Outros macronutrientes: Cálcio, Magnésio e Enxofre**

Dos três macronutrientes, o cálcio é o que se apresenta em maiores concentrações em bio sólidos que utilizam a cal no processo de higienização, sendo essencial para o bom desenvolvimento da planta. Esses macronutrientes estão presentes nos bio sólidos essencialmente na forma mineral e mesmo em pequenas aplicações podem suprir a necessidade de magnésio e enxofre da maioria das culturas agrícolas.

- **Micronutrientes**

Micronutrientes são os elementos que as plantas necessitam em quantidades muito pequenas para seu desenvolvimento. Segundo MELO,



MARQUES & MELO (2001), o teor de micronutrientes no solo tem aumentado pela aplicação de biossólidos. Os biossólidos contêm micronutrientes tais como cobre, zinco, manganês, boro, molibdênio e cloro, e quando aplicado em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio, normalmente as necessidades de micronutrientes das plantas são atendidas.

MARQUES et al. (1997) utilizando lodo de esgoto calado nas dosagens de 2,5, 5,0 e 10 Mg.ha<sup>-1</sup> na cultura do milho como planta teste durante 2 anos consecutivos, com duas aplicações de lodo, observaram efeito residual da matéria orgânica no solo, o que provavelmente seja decorrente de sua lenta decomposição, proporcionando liberação gradual de nutrientes, especialmente N, P, S e micronutrientes, o que aumenta a possibilidade de aproveitamento por parte das plantas.

Já SILVA et al. (1998b) empregaram lodo de esgoto calado nas dosagens de 10, 15 e 30 Mg.ha<sup>-1</sup> na cultura da cana-de-açúcar, observando aumento no teor de P, S, Ca, Cu, B e Zn, associando ao crescimento na produtividade da cana-de-açúcar.

SILVA et al. (2001), usando 0, 20 e 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto calado à cultura da cana-de-açúcar, observaram uma pequena redução na disponibilidade de K trocável do solo, o que decorreu em função da absorção deste nutriente pela cana de açúcar. Obtiveram aumento de Enxofre, sendo que o B permaneceu baixo, indicando que o LE é fonte pobre deste micronutriente.

BREDA (2003) avaliou o efeito da aplicação do lodo de esgoto proveniente de uma pequena estação de tratamento à cultura do milho, em relação à produtividade agrícola e características de plantas de milho, bem como seus impactos nas características do solo e qualidade da água drenada para o freático. Empregou testemunha (sem lodo e sem adubação convencional), 10, 20, 30, 40 Mg.ha<sup>-1</sup> e adubação convencional e observou que os valores finais foram reduzidos a níveis inferiores à metade daqueles observados pela análise inicial de solo, provavelmente devido ao baixo teor de K no lodo. O Ca não apresentou diferença significativa para o primeiro ensaio, sendo que nos demais houve diferença significativa, porém sem uma tendência definida e o Mg não diferiu significativamente em nenhum dos tratamentos utilizados. Foi observado aumento apenas no teor de enxofre de

acordo com as doses de lodo aplicadas, devido à alta concentração deste elemento no lodo.

MARTINS et al. (2003) analisaram durante 4 anos consecutivos o efeito da adição de lodo de esgoto bruto com e sem calcário na produção de grãos e massa seca da parte aérea, obtendo aumentos lineares, associando ao fornecimento de nutriente para a planta, especialmente N, P, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn.

NASCIMENTO et al. (2004) aplicaram lodo bruto nas taxas de 0, 10, 20, 30, 40 e 60Mg.ha<sup>-1</sup> à cultura do milho e observaram que a relação C/N apresentou-se favorável a mineralização e conseqüente disponibilização de N. Obteve aumento significativo nos teores de P (2 vezes maior que o inicial), no entanto ainda assim em baixos níveis. Teores de K e Na trocáveis aumentaram a partir da dose de 30 Mg.ha<sup>-1</sup>, o que se deveu aos teores relativamente baixos de K e Na no lodo.

### 2.2.1.3 Características microbiológicas

De acordo com ANDREOLI & BONNET (1998), alguns dos agentes bacterianos mais freqüentes em lodo de esgoto são *Salmonella spp.*, *Shigela sp.*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Leptospira sp.*. Existem poucas evidências de transmissão de doenças decorrentes do uso de lodo de esgoto, e há concordância de que a maior probabilidade de riscos esteja diretamente relacionada ao uso de culturas que estejam em contato direto com o lodo, ao uso em pastagens e à contaminação de corpos d'água.

Para fins de análise do padrão sanitário do lodo, devem ser avaliados ovos viáveis de helmintos e coliformes fecais (Tabela 2), conforme Normativa do Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

**TABELA 2** Limite de patógenos presentes no lodo de esgoto para a reciclagem agrícola

<b>Parâmetros</b>	<b>Limites</b>
<b>Contagem de ovos viáveis de helmintos</b>	0,25 ovos/g MS
<b>Coliformes Fecais</b>	10 <sup>4</sup> NMP/g MS

Fonte: Instrução Normativa IAP.

GASPARD, WIART & SCHWARTZBROD (1995) concluíram que podem existir ovos de helmintos viáveis mesmo após 30dias a temperaturas

entre 60 e 70°C, principalmente devido à dificuldade em se manter uma temperatura homogênea.

GASPARD, WIART & SCHWARTZBROD (1997) analisaram 99 amostras de resíduos dentre eles lodo de esgoto, lodo de lagoas de sedimentação e compostos em relação ao potencial de contaminação parasitológica. Observaram que os ovos de helmintos possuem uma alta resistência em tratamentos anaeróbios, em que temperaturas entre 40 e 50°C não foram efetivas para destruição dos mesmos.

SUMAIA et al. (1997) avaliaram a sobrevivência de bactérias entéricas no solo durante 7 meses, aplicando 60 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e incorporando na camada de 0-0,15m. *Salmonella* sp sobreviveram no solo durante 30 dias após a incorporação, sendo que para os coliformes fecais houve uma redução de 10<sup>4</sup>NMP/g, concluindo, assim, que a sobrevivência de bactérias em solo é dependente de fatores ambientais, físicos, químicos e biológicos e que o estabelecimento de taxas definitivas de sobrevivência é praticamente impossível.

Os processos de desinfecção mais comumente utilizados são a calagem e a compostagem, devido ao baixo custo e eficiência do processo. Dentre esses, a calagem tem preferência pelo curto período de contato exigido para que se alcance os padrões estabelecidos em Normativa. De acordo com ANDREOLI, LARA & FERNANDES (1999), após a higienização pelo processo de calagem, o lodo tem que ser estocado na ETE por um período mínimo de 2 meses para garantir a eficácia do tratamento sanitário, porém ao se utilizar a calagem a 50%, este período cai para 30 dias. Já CARVALHO & CARVALHO (2001) citam que o período necessário para se conseguir uma redução significativa de patógenos é de 2 horas de contato em pH igual a 12, níveis estes alcançados facilmente pelo processo de mistura da cal com o lodo.

A calagem do lodo consiste na mistura de cal virgem (CaO) ao lodo em proporções que variam de 30 a 50% do peso seco do lodo, quando então três fatores interferem no processo: inicialmente a elevação da temperatura devido às reações químicas (exotérmicas) de hidratação da cal, posteriormente o pH da massa resultante que se eleva a níveis ligeiramente superiores a 12 e finalmente a ação da amônia que se forma a partir do nitrogênio do lodo em condições de temperatura e pH elevados.

FERNANDES (1999) comprovou a eficiência da calagem a 30, 40 e 50% após 20 dias de contato, observando que salmonelas, coliformes fecais e cistos de protozoários foram destruídos em qualquer dose de cal utilizada, sendo que os ovos de helmintos se mostraram mais resistentes. Já ANDRAUS et al. (1998) utilizaram lodo aeróbio, prensado e calado a 50% a fim de avaliar a eficiência no processo de desinfecção, obtendo redução de 100% na salmonela ssp, sendo que em relação a coliformes fecais estes passaram a estar presentes abaixo da dose mínima infectante ( $1,6 \times 10^4$  NMP/100g MS); os *Streptococos Fecais*, por sua vez, mostraram-se resistentes ao tratamento.

### **2.3 Culturas Recomendadas**

As propriedades do biossólido são semelhantes a outros produtos orgânicos usados na agricultura em termos de resultados agronômicos, devido a isso, tal resíduo poderia ser aplicado a maioria das culturas. Porém, algumas culturas são mais indicadas mais que outras para o uso do lodo, seja por aproveitarem melhor a sua composição química e liberação lenta do nitrogênio, seja por eliminarem os riscos associados à reciclagem de resíduos, principalmente com relação aos patógenos. Desta forma, é restringido o uso do lodo para horticultura e demais produtos consumidos crus e que tenham contato direto com o lodo. O milho e as gramíneas de modo geral (sorgo, trigo, cana) pelas suas características, são as mais recomendadas e as que dão melhores respostas ao uso do lodo. Outras aplicações como fruticultura, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas também são alternativas interessantes, dentro de critérios específicos de utilização.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Local de desenvolvimento da pesquisa**

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA) pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* de Cascavel, localizado na BR 467, Km 101 no período de dezembro de 2003 a abril de 2004. As coordenadas são 24°54' latitude sul, 53°31'57" longitude oeste de Greenwich, altitude 750m, com clima subtropical úmido – Cfa segundo classificação de Köppen,.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, com relevo suave a ondulado e textura muito argilosa. As frações texturais presentes no solo da área experimental foram de 12,6% areia, 19,5% silte e 67,9% argila.

### **3.2 Obtenção do lodo de esgoto**

O lodo utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-Oeste) da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), localizada na região Oeste da cidade de Cascavel – Paraná, no prolongamento da Rua Cipreste s/n Bairro Parque Verde, responsável pelo tratamento do esgoto de 1/3 da população, gerando mensalmente 32 toneladas de lodo.

O sistema de tratamento de esgoto da referida estação emprega um pré-tratamento, onde o esgoto passa pelo processo de gradeamento e caixa de areia, seguido do tratamento biológico anaeróbio onde o esgoto fresco sofre a ação de bactérias anaeróbias. O lodo em excesso gerado no processo biológico é bombeado aos leitos de secagem. Após o tratamento biológico o efluente líquido é encaminhado a um decantador, onde é adicionado coagulante (cloreto férrico a 5%) para remoção da matéria que ainda está em suspensão. O líquido proveniente do decantador segue para uma câmara de contato, onde são adicionados ácido perclórico e cloreto de sódio, resultando

na formação de dióxido de cloro, quando então o efluente final é lançado ao corpo receptor. Os lodos provenientes das unidades do sistema de tratamento são bombeados aos leitos de secagem, os materiais retirados no gradeamento e desarenador são descartados (Figura 2).



**Figura 2** Diagrama do tratamento adotado na ETE Oeste.

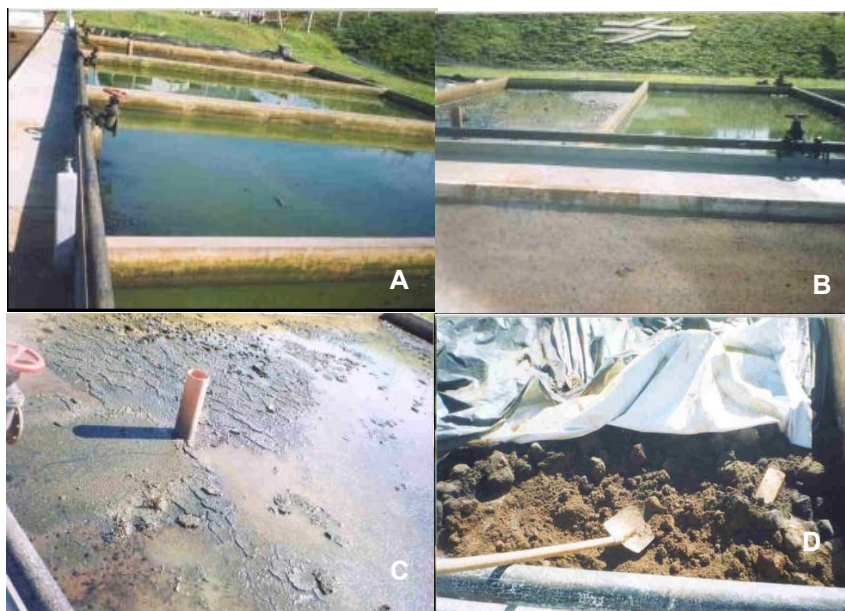
A eficiência no processo de tratamento de esgotos na ETE Oeste chega a 99,91% em relação a coliformes totais, 99,97% coliformes fecais, 94,35% Demanda Química de Oxigênio (DQO) e 93,72% na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), conforme a Tabela 3.

**Tabela 3** Eficiência do sistema de tratamento do esgoto da ETE Oeste

<b>Parâmetro</b>	<b>Afluente</b>	<b>Efluente</b>	<b>Eficiência(%)</b>
<b>Coliformes Fecais (NMP.g<sup>-1</sup> MS)</b>	36.000.000	12.000	99,97
<b>Coliformes Totais (NMP.g<sup>-1</sup> MS)</b>	216.000.000	200.000	99,91
<b>DQO (mg/L)</b>	725,0	41,0	94,35
<b>DBO (mg/L)</b>	292,8	18,4	93,72

Análises cedidas pela Sanepar, realizadas em 25/11/2002

O lodo foi retirado dos leitos de secagem (Figura 3) com teor de umidade de 65%, com o auxílio de uma pá, e ensacado para transporte até o Núcleo Experimental da Engenharia Agrícola da Unioeste, onde foi estocado em estufa, recoberto com lonas, a fim de evitar aumento de umidade resultante de precipitação pluviométrica sobre o material.



**Figura 3** Leitos de secagem empregados na ETE-Oeste: (A) Esquema dos leitos de secagem em série; (B) Estágios iniciais de desidratação por infiltração de água; (C) Estágio avançado de secagem; (D) Lodo seco.

Não foi necessária a moagem do material, já que este se apresentava com teor de umidade ideal para se trabalhar, ausente de ‘torrões’.

### **3.2.1 Caracterização do lodo de esgoto**

Para a caracterização do lodo, foram analisados os parâmetros agrônômicos, características sanitárias e teor de metais pesados, de acordo com instruções normativas do Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

#### **3.2.1.1 Determinação dos parâmetros agrônômicos**

Foram realizadas coletas em 10 pontos aleatórios, homogêneas, resultando em uma amostra composta e representativa do material. Encaminhou-se a amostra para análise das seguintes propriedades químicas: pH, matéria seca, matéria orgânica, nitrogênio total, enxofre, fósforo, potássio, cálcio, relação carbono/nitrogênio e umidade (Tabela 4).

**Tabela 4** Análise química do lodo de esgoto utilizado no experimento

<b>Componente Químico</b>	<b>Valor</b>
<b>P (mg.dm<sup>-3</sup>)</b>	449,00
<b>MO (g.dm<sup>-3</sup>)</b>	65,62
<b>PH (0.01mol.L<sup>-1</sup>)</b>	3,13
<b>H+Al (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	31,92
<b>Al<sup>+3</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	12,80
<b>K<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	0,19
<b>Ca<sup>+2</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	30,16
<b>Mg<sup>+2</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	7,04
<b>SB (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	37,39
<b>CTC (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	69,31
<b>V (%)</b>	53,95
<b>Al (%)</b>	25,50

As análises foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon.

A metodologia utilizada para as análises de metais pesados foi desenvolvida de acordo com SANEPAR (2000), sendo que a metodologia utilizada para as análises químicas foram as do Instituto Agrônomo do Paraná.

### 3.2.1.2 Determinação de Parâmetros Sanitários

Para análise microbiológica do lodo coletou-se 5 amostras subsequentes em diferentes pontos do leito de secagem, armazenou-se em saco plástico esterilizado, homogeneizou-se a amostra composta dentro do próprio saco, a qual foi encaminhada ao laboratório em caixa de isopor contendo gelo (4°C), de acordo com os procedimentos citados por ANDREOLI & BONNET (1998). Os resultados são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** Características microbiológicas do lodo bruto utilizado no experimento

<b>Parâmetro</b>	<b>(NMP.g<sup>-1</sup> MS)</b>
<b>Coliformes Fecais (NMP.g<sup>-1</sup> MS)</b>	<200



<b>Coliformes Totais (NMP.g<sup>-1</sup> MS)</b>	800
<b>Ovos de Helminthos</b>	Ausência

As análises foram fornecidas pela Sanepar, realizadas no laboratório de análises de meio ambiente: Laboratório Frischmann Ainsengart (LABFA), situado na cidade de Curitiba - Paraná.

### 3.2.1.3 Determinação de metais pesados

As coletas foram feitas em pelo menos 10 pontos distribuídos, sendo as mesmas homogeneizadas. A amostra composta foi armazenada em recipientes seguros, visando impedir passagem de luz e acondicionadas em plástico vedado. Os metais determinados foram: cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, zinco e mercúrio (Tabela 6).

**TABELA 6** Teores de metais no lodo de esgoto utilizado

<b>Elemento</b>	<b>Lodo de Esgoto (mg.kg<sup>-1</sup> de MS)</b>
<b>Cd</b>	1,32
<b>Cu</b>	147,23
<b>Ni</b>	<0,001
<b>Pb</b>	61,18
<b>Zn</b>	141,62
<b>Hg</b>	1,93
<b>Cr</b>	109,26

As análises de metais foram fornecidas pela Sanepar, realizadas pelo laboratório LABFA, sendo que a metodologia adotada foi espectrofotometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite.

### 3.2.2 Higienização do lodo

Para o processo de higienização optou-se pela calagem do lodo a 50%, devido ao baixo custo da cal, eficiência do processo de calagem, bem como o curto período de estabilização do lodo, que foi de 30 dias, sendo utilizada a cal virgem.

Para a calagem, inicialmente foi analisada a umidade do lodo bruto, em função desta calculou-se o peso seco. Pelo peso seco foi calculada a

quantidade de cal necessária para o processo de higienização, de acordo com ILHENFELD, ANDREOLI & LARA (1999). Realizou-se a mistura manual do lodo e da cal, com auxílio de enxada. Os resultados são apresentados na Tabela 7, conforme metodologia da pagina 28.

**TABELA 7** Eficiência da calagem a 50%

<b>Parâmetro</b>	<b>Lodo Bruto</b>	<b>Lodo caleado a 50%</b>
<b>Coliformes Fecais (NMP.g<sup>-1</sup>MS)</b>	<200	<0.2
<b>Coliformes Totais(NMP.g<sup>-1</sup>MS)</b>	800	<0.2
<b>Ovos de Helminthos</b>	Ausência	Não realizada

### 3.3 Caracterização do solo

Para a análise química do solo coletaram-se amostras de solo (Figura 4) em pelo menos 15 pontos distribuídos aleatoriamente na área do experimento na profundidade de 0,2m, sendo as amostras homogeneizadas caracterizando uma amostra composta.



**Figura 4** Coleta de solo para análise de metais pesados e caracterização do solo na área experimental.

Os resultados são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** Caracterização química do solo da área experimental

<b>Parâmetro analisado</b>	<b>Valor Médio</b>
<b>P (mg.dm<sup>-3</sup>)</b>	16,08
<b>C (g.dm<sup>-3</sup>)</b>	29,39
<b>pH (0.01mol.L<sup>-1</sup>)</b>	4,60
<b>H+Al (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	11,26
<b>Al<sup>+3</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	0,30
<b>K<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	0,83
<b>Ca<sup>+2</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	6,39

<b>Mg<sup>+2</sup> (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	1,81
<b>SB (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	9,03
<b>CTC (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	20,29
<b>V (%)</b>	44,50
<b>Al (%)</b>	3,22

As amostras foram encaminhadas para o laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de Marechal Candido Rondon, conforme metodologia pagina 28.

Para análise do teor de metais pesados as amostras foram homogeneizadas para ambas as glebas, tendo-se assim apenas uma amostra composta (Tabela 9).

**Tabela 9** Teor de metais pesados no solo

<b>Elemento</b>	<b>Valor (mg.kg<sup>-1</sup> de MS)</b>
<b>Cd</b>	<0,001
<b>Cr</b>	143,77
<b>Cu</b>	299,40
<b>Hg</b>	<1,00
<b>Ni</b>	<0,001
<b>Pb</b>	12,57
<b>Zn</b>	141,83

A determinação do teor de metais pesados presentes no solo antes da aplicação do biofósforo foi realizada pelo Laboratório LABFA conforme metodologia citada anteriormente.

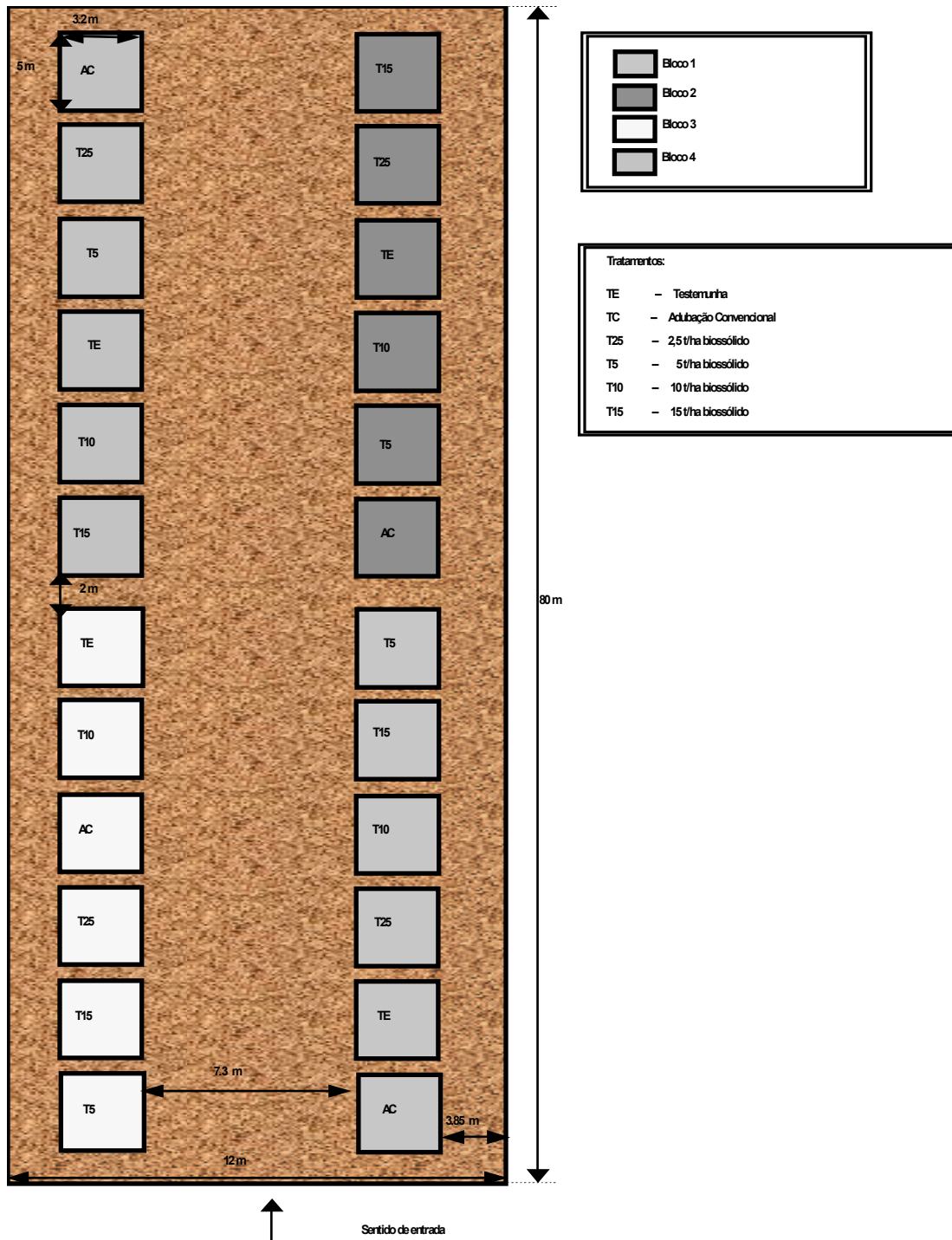
### 3.4 Tratamentos

Foram utilizados 6 tratamentos com 4 repetições cada, assim definidos:

- Testemunha (sem adubação convencional e sem biofósforo);
- Adubação Convencional (8-18-28 na dosagem de 300Kg.ha<sup>-1</sup>);
- 2,5 Mg.ha<sup>-1</sup> de biofósforo;
- 5 Mg.ha<sup>-1</sup> de biofósforo;
- 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de biofósforo;
- 15 Mg.ha<sup>-1</sup> de biofósforo.

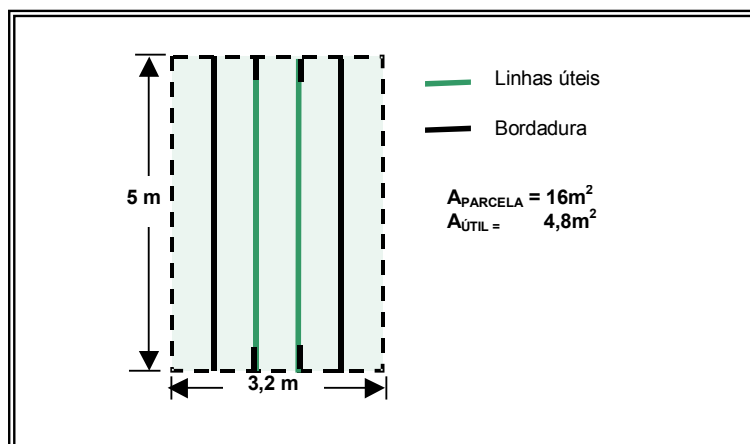
O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo que o experimento consistiu de 24 parcelas de 3,2x5m, portanto uma área de

16m<sup>2</sup>. O espaçamento entre parcelas foi 1m e 7,3m entre blocos, de acordo com a Figura 5. Para cada parcela foram cultivadas 4 linhas de milho, com um espaçamento entre plantas de 0,20m e entre linhas de 0,80m. Utilizou-se como bordadura as duas linhas laterais e 1m das extremidades da unidade



experimental, sendo assim, duas linhas centrais foram utilizadas, totalizando em média 30 plantas úteis por parcela (Figura 6).

**Figura 5** Croqui do experimento.



**Figura 6** Croqui de uma unidade experimental.

Na tabela 10 são apresentados os tratamentos empregados bem como as quantidades de biofósforo aplicadas.

**TABELA 10** Tratamentos empregados e quantidades de biofósforo aplicadas

Tratamento	Biofósforo Mg.há <sup>-1</sup>	Adubação Química	Biofósforo* kg/parcela	Biofósforo** Kg/parcela
TE <sup>1</sup>	0	Não	0	0
TC <sup>2</sup>	0	Sim	0	0
T2,5 <sup>3</sup>	2,5	Não	4	6,7
T5 <sup>4</sup>	5	Não	8	13,3
T10 <sup>5</sup>	10	Não	16	26,7
T15 <sup>6</sup>	15	Não	24	40

\*Base seca; \*\*Base úmida; 1 – Testemunha; 2 – Adubação Convencional; 3 – 2,5 Mg.ha<sup>-1</sup>; 4 – 5 Mg.ha<sup>-1</sup>; 5 – 10 Mg.ha<sup>-1</sup>; 6 – 15 Mg.ha<sup>-1</sup>.

Na Figura 7 é apresentada foto da área experimental durante a incorporação



**Figura 7** Área experimental, durante a incorporação do bio sólido ao solo.

Na data da incorporação, o bio sólido apresentava-se com 40% de umidade, sendo as quantidades de lodo calculadas sobre este valor, desconsiderando-se, portanto, a massa de água contida no mesmo.

Para a instalação do experimento a campo, os seguintes procedimentos foram necessários:

- Demarcação das parcelas e estaqueamento – as parcelas foram medidas de acordo com as dimensões explicitadas na Figura 6, medidas com auxílio de trena e delimitadas com estacas, com a divisão entre si de 1m e entre blocos na horizontal 2m e na vertical 7,3m.
- Aplicação do bio sólido – as dosagens foram separadas em sacos, devidamente pesados e identificados, os quais foram colocados em cada uma das parcelas que empregavam o bio sólido como tratamento, e posteriormente espalhados manualmente por toda a área da parcela (16m<sup>2</sup>), Figura 7.
- Incorporação do bio sólido – após a distribuição do bio sólido sobre a parcela realizou-se a incorporação do mesmo na profundidade de aproximadamente 15cm, a qual foi realizada com auxílio de grade niveladora (Figura 8).



**Figura 8** Incorporação do biofósforo ao solo nas parcelas.

- Adubação química – a adubação química foi realizada conforme preconiza as recomendações da cultura do milho para o solo da área experimental: 8-18-28 na dosagem de 300 kg.ha<sup>-1</sup>.
- Semeadura – A semeadura foi realizada no dia da incorporação do biofósforo, com o auxílio de semeadora-adubadora, com espaçamento entre plantas de 0,20m e entre linhas de 0,80m.
- Aplicação de herbicidas – Foram utilizados para controle de ervas daninhas o herbicida Herbicini SC (7 L.ha<sup>-1</sup>), juntamente com o inseticida MATHC, na proporção de 600 mL.ha<sup>-1</sup>, em toda a área experimental. A primeira aplicação foi realizada no dia 17 de dezembro, 15 dias após a semeadura e a segunda no dia 29 de dezembro.
- Adubação em cobertura – No dia 29 de dezembro, anterior à aplicação do herbicida e inseticida, realizou-se a adubação em cobertura para as parcelas do tratamento que empregava adubação convencional, com a abertura de covas, manualmente, ao lado de cada uma das 4 linhas da parcela, onde adicionou-se 300 Kg.ha<sup>-1</sup> de uréia na fase de 3 a 4 folhas da cultura, cobrindo-se com solo posteriormente.

### **3.5 Desenvolvimento da cultura no campo**

Para avaliação do desenvolvimento da cultura no campo, foram escolhidas ao acaso 4 plantas em cada uma das parcelas, sendo duas em cada uma das linhas centrais. As plantas foram marcadas com um cordão amarrado ao redor do caule e realizou-se a avaliação, sempre nas mesmas plantas, a cada 20 dias, até que se observasse a inserção do pendão da planta, totalizando 4 medições aos 20, 40, 60 e 80 dias após a semeadura (DAS). Os parâmetros avaliados foram:

#### **3.5.1 Estatura da planta**

A estatura da planta foi medida desde o solo até a base da folha mais alta até que houvesse a inserção do pendão, quando então se mediu até a base do mesmo. As medições foram realizadas com o auxílio de uma fita métrica presa a um pedaço de madeira.

### **3.5.2 Diâmetro do colmo**

Foi medido o perímetro dos caules com o auxílio de uma trena, logo acima da base do solo e posteriormente logo acima das raízes adventícias. Calculou-se o diâmetro da seguinte forma:

### **3.5.3 Número de folhas**

Foram contadas as folhas presentes em cada uma das plantas, sendo que ao longo do desenvolvimento da cultura as folhas secas foram desconsideradas.

## **3.6 Componentes de Produção**

A fim de determinar a produtividade da cultura nos diferentes tratamentos foram avaliados os parâmetros a seguir. Consideraram-se apenas as espigas presentes na área útil da parcela, a qual foi de 4,8 m<sup>2</sup> desconsiderando-se as linhas laterais e 1m das extremidades das linhas centrais. A colheita foi realizada manualmente, separando-se em sacos plásticos devidamente identificados para análise em laboratório.

### **3.6.1 Comprimento das espigas**

Efetuada com auxílio de uma trena, de uma base até a outra.

### **3.6.2 Diâmetro das espigas**

Com auxílio de uma trena, no centro da mesma mediu-se o perímetro, e procedendo ao mesmo cálculo do citado para o diâmetro do colmo, obteve-se o diâmetro das espigas.

### **3.6.3 Massa de grãos**



Foi realizado o despalhamento das espigas de milho, após isto as mesmas foram debulhadas com auxílio de equipamento de debulha.

Após debulhados, os grãos foram separados por parcelas em sacos plásticos, pesados em balança analítica. Coletou-se uma amostra composta para cada bloco e realizou-se a determinação de umidade das mesmas.

#### **3.6.4 Número de plantas por parcela**

Foram contadas quantas plantas havia na área útil de cada parcela no momento da colheita.

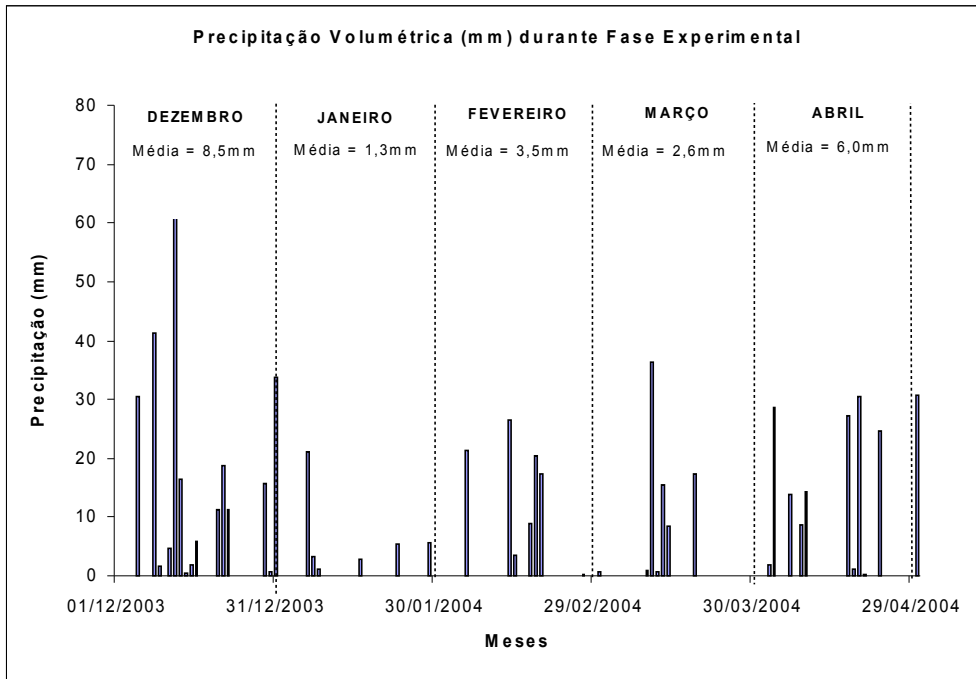
#### **3.7 Caracterização do solo após o experimento**

Ao final do ciclo vegetativo da cultura, no dia da colheita, foram coletadas duas amostras em cada uma das parcelas à profundidade de 0 a 0,20m, com auxílio de uma pá de corte.

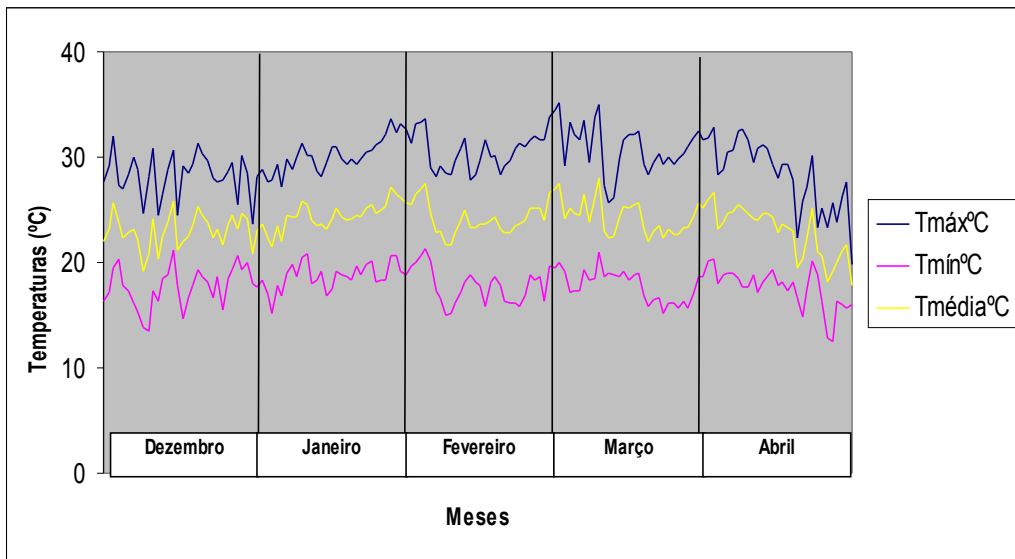
#### **3.8 Dados Climatológicos**

Os dados climatológicos adquiridos são relacionados às variáveis Precipitação Pluviométrica (mm) e temperaturas máxima, mínima e média durante os meses de experimento. Estes dados foram obtidos junto ao Sistema de Meteorologia do Paraná (SIMEPAR).

A fim de facilitar a compreensão os dados foram expostos isoladamente em dois gráficos, um mostrando a variação pluviométrica (Figura 9) e outro as variações de temperatura (Figura 10) durante a fase experimental.



**Figura 9** Precipitação pluviométrica durante a fase experimental.



**Figura 10** Temperaturas médias durante a fase experimental.

De acordo com dados fornecidos pelo Simepar, verifica-se que o período de desenvolvimento da pesquisa apresentou um comportamento atípico em relação ao índice pluviométrico médio típico para a região nos meses de desenvolvimento da cultura, apesar das temperaturas médias máxima e mínima estarem de acordo com a média observada nos períodos analisados. Tais fatores podem ter influenciado no desenvolvimento da cultura em campo.

### **3.9 Análise Estatística**

Os dados foram sujeitos inicialmente à análise de normalidade no *Software Minitab*, sendo que os dados que não apresentaram normalidade foram sujeitos à transformação de Box e Cox. A análise de variância foi realizada pelo *Software Sisvar.Ink* de Daniel Furtado ao nível de 5% de significância, aplicando o teste de Tukey para comparação de médias.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caracterização do solo**

Os resultados das análises estatísticas realizadas para os dados de análise química do solo ao término do experimento podem ser observados na Tabela 11.

Todos os dados foram inicialmente submetidos a teste de análise de normalidade de Anderson Darling para posterior análise de variância. Dentre os parâmetros observados, alguns apresentaram normalidade (P, V, Ca, H+Al), outros foram transformados de acordo com Box e Cox, porém os resultados demonstrados sem transformação (Mg, K, CTC, pH), sendo que alguns não apresentaram normalidade mesmo após transformação, sendo assim analisadas apenas as médias (C, S). Em relação aos parâmetros que proporcionaram como resultado de análise valores iguais a zero (Al, Al\*), foram, igualmente, observadas somente suas médias.

**Tabela 11** Análise química básica de solo após a colheita

	Tratamento					
	Ad. Conv <sup>1</sup>	Test. <sup>1</sup>	2,5 <sup>1</sup>	5 <sup>1</sup> Mg.ha <sup>-1</sup>	10 <sup>1</sup>	15 <sup>1</sup>
<b>P (mg.dm<sup>-3</sup>)</b>	10,82a	14,97a	11,90 <sup>a</sup>	9,60 a	11,67a	9,60 a
<b>C (g.dm<sup>-3</sup>)</b>	18,31	17,33	18,30	16,36	18,70	19,47
<b>pH (CaCl<sub>2</sub> 0,01M)</b>	4,90a	5,15a	5,07a	4,82a	5,12a	4,97a
<b>Al (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	0,20	0,21	0,03	0,15	0,01	0,15
<b>H+Al (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	6,03 a	4,98 a	5,42 a	6,10 a	5,41a	5,66 a
<b>Ca (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	5,04 a	5,58 a	6,54 a	5,16 a	6,10 a	5,52 a
<b>Mg (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	2,85 a	3,50 a	3,97 a	3,22 a	3,48 a	3,31 a
<b>K (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	0,29 a	0,32 a	0,28 a	0,40 a	0,37 a	0,37 a
<b>S (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	8,56	9,74	10,26	9,03	9,92	9,41
<b>CTC (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>	14,59a	14,72a	15,68a	15,13a	15,32a	15,06a
<b>V (%)</b>	57,91a	64,95a	57,20a	58,30a	64,41a	61,70a
<b>Al* (%)</b>	2,88	2,82	0,38	1,84	0,10	2,05

S=Soma de Bases; V=Saturação por Bases; Al\*=Saturação por Alumínio

<sup>1</sup>Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para o teor de fósforo observa-se que não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos, apesar BREDA (2003), MELO et al. (1997), NASCIMENTO et al. (2004), SILVA et al. (2001) e ANDRADE & MATTIAZZO (2000) terem obtido influência positiva do bio-sólido sobre o teor de fósforo no solo, discordando dos dados obtidos no presente trabalho.

Em relação ao teor de C, observa-se que houve uma redução em relação ao teor inicialmente presente no solo em todos os tratamentos. De acordo com ANDRADE & MATTIAZZO (2000) em Latossolo Vermelho-Amarelo e MELO et al. (1997) em Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro e BREDA (2003) no primeiro ano agrícola após aplicação de lodo, após novas

aplicações verificou aumento no teor de matéria orgânica acumulado no solo diretamente proporcional à dose de lodo aplicada, verificando que a cada 10 Mg.ha<sup>-1</sup> aplicadas ocorre um aumento de 2,0 g.dm<sup>-3</sup> nos teores de matéria orgânica, sendo o mesmo verificado por MARQUES et al. (1997), SIMONETE & KIEHL (2002) e BORGES & COUTINHO (2004). NASCIMENTO et al. (2004) observaram expressivos aumentos nos teores de matéria orgânica nos tratamentos que empregaram lodo, no entanto também verificaram aumento na testemunha que não empregou nenhum tipo de adubação. Por outro lado, MIRANDA & BISCAIA (1996) em aplicação única de lodo de esgoto não observaram aumento expressivo no teor de matéria orgânica no solo ao término do experimento mesmo utilizando 60 Mg.ha<sup>-1</sup>.

Em relação ao pH apesar do lodo de esgoto apresentar-se calado, este não apresentou aumento excessivo do pH, isto devido possivelmente ao poder tampão do solo. MIRANDA & BISCAIA (1996), SILVA et al. (1998b), MARQUES et al. (1997), MELO et al. (1997) que utilizaram lodo de esgoto calado também observaram tal efeito, mesmo em tratamentos que empregaram 60 Mg.ha<sup>-1</sup>. SIMONETE & KIEHL (2002), SILVA et al. (2001), NASCIMENTO et al. (2004), BORGES & COUTINHO (2004), BREDA (2003) e PIGOZZO (2003) utilizaram lodo de esgoto bruto, observando que o pH do solo tendeu a diminuir com o tempo, sugerindo que a nitrificação do nitrogênio amoniacal e a geração de ácidos orgânicos das reações envolvidas na degradação da carga orgânica do resíduo tenham sido paralisadas pela acidez excessiva do meio. No entanto, apesar das variações do pH nos experimentos dos autores citados, o pH se manteve bastante próximo do valor inicial do solo.

Para o Cálcio, não foram observados aumentos devido à aplicação de lodo calado ao solo, o que se deve ao fato de ter-se utilizado baixas dosagens de biossólido no experimento, ao contrario de SILVA et al. (1998b), SILVA et al. (2001), MIRANDA & BISCAIA (1996), ANDRADE & MATTIAZZO (2000) e MELO et al. (1997), os quais utilizaram lodo de esgoto calado em altas dosagens.

Em relação ao Magnésio, não se observou diferença significativa entre os tratamentos, o que está de acordo com o observado por BREDA (2003), ANDRADE & MATTIAZZO (2000), NASCIMENTO et al. (2004), MIRANDA & BISCAIA (1996), SILVA et al. (2001). MELO et al. (1997) sugerem que tal fato

é devido ao baixo teor de Mg no bio sólido e também à elevada concentração de Ca, que pode ocupar predominantemente os sítios de troca de complexo coloidal.

Para o Potássio os teores finais presentes no solo foram menores que os valores iniciais ( $0.83 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ). Tal fato se deve ao baixo teor de K presente no bio sólido e ao fato de não ter sido realizado complementação mineral nos tratamentos com o mesmo. No entanto, verifica-se que mesmo no tratamento que empregou adubação convencional o teor final de potássio foi inferior aos tratamentos com bio sólido, apesar de não haver diferença estatística significativa. BREDA (2003) verificou teores inferiores à metade dos observados inicialmente. SILVA et al. (1998b), Segundo SILVA et al. (2001), MELO et al. (1997), MIRANDA & BISCAIA (1996) e ANDRADE & MATTIAZZO (2000) também observaram redução no teor de K no solo, ao contrário de NASCIMENTO et al. (2004) que observou pequenos aumentos no teor de K no solo a partir da dosagem de  $30 \text{ Mg}.\text{ha}^{-1}$ .

A soma de bases (S) é calculada em função das bases trocáveis K, Ca e Mg. Sendo assim pode-se dizer que este parâmetro apresentou um comportamento semelhante ao já descrito para o potássio, cálcio e magnésio.

Com relação à capacidade de troca catiônica (CTC), observa-se que a CTC apresentou valor superior nos tratamentos que empregaram bio sólido apesar de serem estatisticamente iguais, porém o aumento não foi proporcional ao aumento da dosagem. Segundo BREDA (2003) a CTC apresenta estreita relação com os teores de MO presentes no solo, no entanto tal correlação só foi significativa em doses acima de  $30 \text{ Mg}.\text{ha}^{-1}$  de bio sólido, dosagem não empregada no trabalho em questão. No entanto, um aumento da CTC também foi observado por BREDA (2003), PIGOZZO (2003), SILVA et al. (1998b), SILVA et al. (2001), MELO et al. (1997) e NASCIMENTO et al. (2004), sendo que estes concluíram que a CTC pode ser mais bem explicada pela variação do pH do que pelo acréscimo de carbono orgânico decorrentes da incorporação do lodo ao solo. No presente trabalho, porém, o aumento da CTC não apresentou relação com o pH ou MO, talvez devido às baixas dosagens de bio sólido empregadas.

Os resultados da saturação por bases (V%) apresentaram valores inferiores aos observados inicialmente no solo, não havendo diferença

significativa entre os tratamentos. No entanto, BREDA (2003) encontrou aumento de V na profundidade de 0,1 – 0,2m, e redução na profundidade de 0 – 0,1m. SILVA et al. (2001), SIMONETE & KIEHL (2002) e MELO et al. (1997) observaram aumento no percentual de saturação de bases com o aumento da dosagem de lodo. A não ocorrência do aumento V neste trabalho pode estar relacionada às baixas dosagens de bio-sólido empregadas no experimento.

#### 4.2 Análise de Metais Pesados

Para análise do teor de metais pesados foram utilizadas as mesmas amostras utilizadas para a análise química, das quais se gerou uma amostra composta por tratamento (Tabela 12).

**Tabela 12** Análise do teor de metais pesados presente no solo após a colheita

<b>Tratamento</b>	<b>Cu (mg.Kg<sup>-1</sup> MS)</b>	<b>Zn</b>
<b>Testemunha</b>	9,40	2,40
<b>Ad. Convencional</b>	8,70	4,40
<b>2,5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	8,50	4,00
<b>5,0 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	9,50	2,50
<b>10,0 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	10,20	5,00
<b>15,0 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	9,70	3,00

Para o cobre e o zinco não se observou relação direta entre aumento da dosagem de bio-sólido e aumento no teor destes metais no solo. A Tabela 13 apresenta a quantidade de metais adicionados ao solo em cada um dos tratamentos.

**TABELA 13** Valores médios de metais adicionadas ao solo através do bio-sólido

<b>Elemento</b>	<b>Lodo mg.Kg<sup>-1</sup> MS</b>	<b>2,5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	<b>5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	<b>10 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	<b>15 Mg.ha<sup>-1</sup></b>
		<b>Dose aplicada (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Cu</b>	147,23	0,368075	0,73615	1,4723	2,20845
<b>Zn</b>	141,62	0,35405	0,7081	1,4162	2,1243

O pequeno incremento no solo se deu em função do baixo teor dos elementos adicionados ao solo bem como às baixas dosagens de lodo empregadas no experimento em questão. Entretanto, inúmeros trabalhos têm evidenciado que altas dosagens de lodo podem trazer problemas ambientais a longo prazo, bem como absorção pela planta conforme referências bibliográficas citadas no presente trabalho.

### 4.3 Desenvolvimento da Cultura no Campo

O comportamento das plantas durante o desenvolvimento da cultura no campo foi avaliado através da: estatura, diâmetro do colmo e número de folhas.

#### 4.3.1 Estatura da Planta

Os dados apresentados na Tabela 14 referem-se às médias dos tratamentos nas avaliações realizadas ao longo do desenvolvimento da cultura. Os dados inicialmente foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson Darling, apresentando comportamento normal.

**Tabela 14** Estatura da planta durante o desenvolvimento da cultura no campo (cm)

<b>Tratamento</b>	<b>20 DAS<sup>2</sup></b>	<b>40 DAS<sup>2</sup></b>	<b>60 DAS<sup>2</sup></b>	<b>80 DAS<sup>2</sup></b>
<b>Ad. Conv</b>	32,69 a <sup>1</sup>	134,62 a	245,19 a	265,31 a
<b>Testemunha</b>	33,44 a	147,25 a	268,81 b	287,44 ab
<b>2,5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	33,12 a	137,31 a	263,44 ab	290,62 ab
<b>5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	34,62 a	134,62 a	258,06 ab	283,37 ab
<b>10 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	33,00 a	146,37 a	268,81 b	300,62 b
<b>15 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	32,12 a	148,25 a	271,69 b	288,31 ab
<b>Média Geral</b>	33,17	141,41	262,67	285,95
<b>CV(%)</b>	13,37	14,23	7,79	9,50
<b>DMS</b>	4,57	20,74	21,09	28,01
<b>NºObs</b>	96	96	96	96

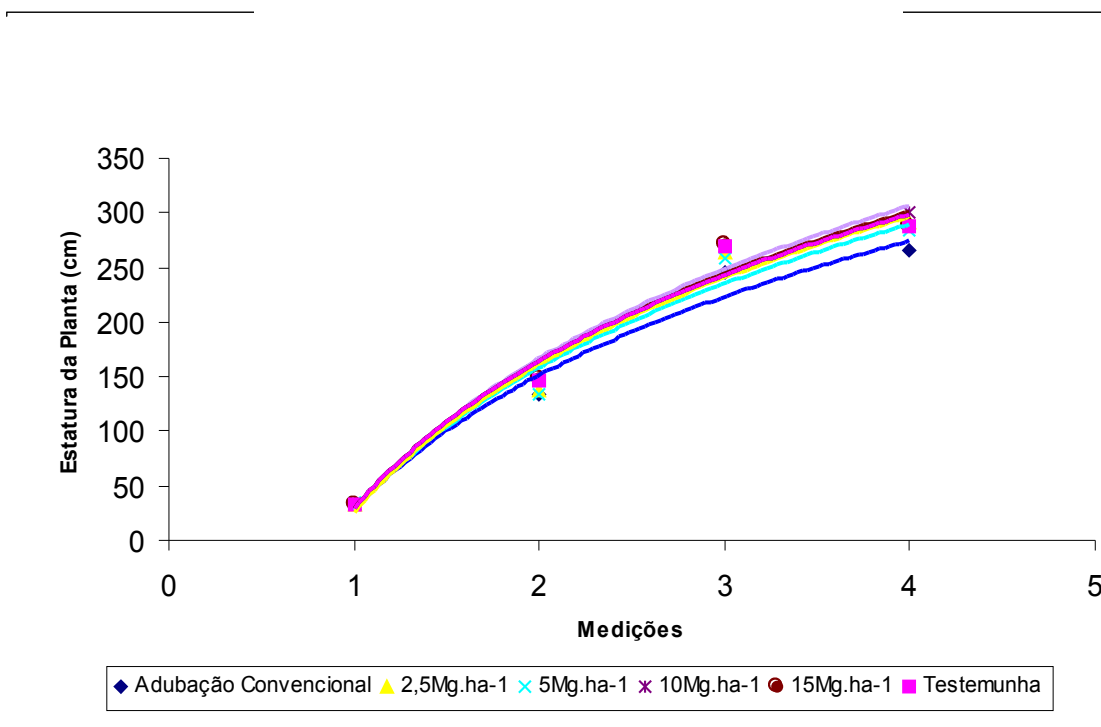
<sup>1</sup>Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>2</sup>DAS – Dias após a semeadura.

Pela Tabela 14, pode-se verificar que aos 20 e 40 DAS não houve diferença significativa em relação à estatura das plantas ao nível de 5% de significância, certamente devido ao fato da cultura estar no início de desenvolvimento. Aos 60 DAS, verifica-se diferença significativa entre as médias analisadas, sendo o maior valor observado para o tratamento que empregou 15 Mg.ha<sup>-1</sup>, no entanto não diferindo estatisticamente dos demais, exceto para a adubação convencional, que apresentou a menor média observada.

Aos 80 DAS, quando então se obteve a estatura final das plantas, pode-se observar novamente diferença estatística entre os tratamentos. O tratamento que apresentou maior média foi o que empregou 10 Mg.ha<sup>-1</sup>, o qual é estatisticamente igual aos demais tratamentos, com exceção da adubação convencional.



A Figura 11 ilustra o perfil de desenvolvimento da estatura das plantas, mostrando linha de tendência com comportamento semelhante entre os tratamentos, verificando-se que apenas aos 60 e 80 DAS houve diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com a análise estatística apresentada (Tabela 14).



**Figura 11** Perfil da estatura das plantas ao longo do desenvolvimento

Os resultados observados estão de acordo com BREDA (2003) em relação aos tratamentos que empregaram biofertilizante, apresentando maiores médias em relação à adubação convencional e testemunha, no entanto diferem em relação aos resultados obtidos pelo autor nas parcelas que empregaram adubação convencional, as quais conseguiram médias superiores às obtidas pela testemunha.

### 4.3.2 Diâmetro do colmo

Na Tabela 15 encontram-se os dados referentes ao diâmetro do colmo.

**Tabela 15** Diâmetro do colmo durante o desenvolvimento da cultura no campo (cm)

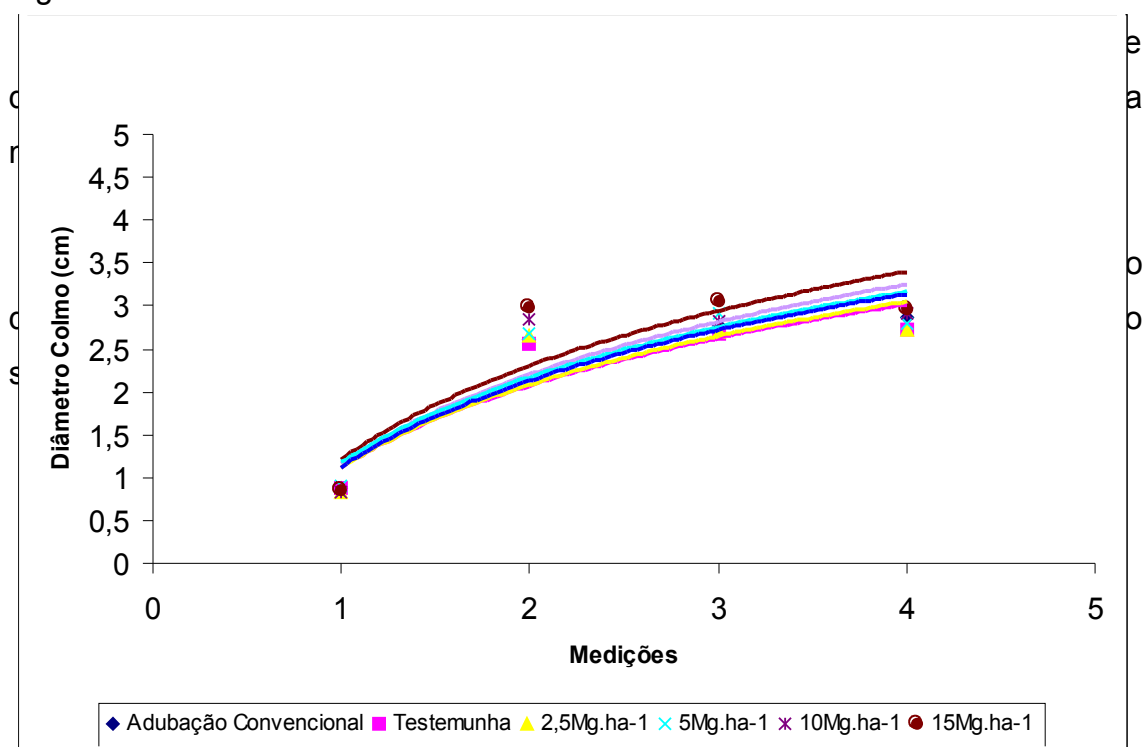
Tratamento	20 DAS <sup>2</sup>	40 DAS <sup>2</sup>	60 DAS <sup>2</sup>	80 DAS <sup>2</sup>
Ad. Conv	0,87 a <sup>1</sup>	2,61 a	2,76 a	2,86 a
Testemunha	0,86 a	2,57 a	2,69 a	2,72 a
2,5 Mg.ha <sup>-1</sup>	0,83 a	2,65 a	2,71 a	2,72 a
5 Mg.ha <sup>-1</sup>	0,89 a	2,66 ab	2,78 a	2,92 a
10 Mg.ha <sup>-1</sup>	0,83 a	2,84 ab	2,82 ab	2,92 a
15 Mg.ha <sup>-1</sup>	0,84 a	2,98 b	3,06 b	2,96 a
Média Geral	0,86	2,72	2,80	2,85
CV(%)	12,83	11,45	8,28	9,87
DMS	0,11	0,32	0,24	0,29
NºObs	96	96	96	96

<sup>1</sup>Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>2</sup> Dias após a semeadura.

Pode-se observar que aos 20 DAS não houve diferença significativa entre as médias obtidas, mas matematicamente o maior valor observado foi para o tratamento que empregou 5 Mg.ha<sup>-1</sup> seguido da adubação convencional.

Aos 40 DAS, observou-se diferença estatística entre as médias, sendo que o tratamento que empregou biossólido na dosagem de 15 Mg.ha<sup>-1</sup> apresentou a maior média, porém estatisticamente semelhante em relação às doses de 5 e 10 Mg.ha<sup>-1</sup>.

Aos 60 DAS, novamente o tratamento que empregou maior dosagem de biossólido apresentou a maior média embora não diferindo do tratamento 10 Mg.ha<sup>-1</sup>.



**Figura 12** Perfil do diâmetro do colmo ao longo do desenvolvimento.

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por BREDA (2003), o qual observou maiores valores para os tratamentos que empregaram lodo como adubação, no entanto as maiores médias foram obtidas na dosagem de 40 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo bruto em solo classificado como Nitossolo Vermelho Distroférrico.

#### 4.3.3 Número de folhas

Na Tabela 16 são apresentadas as médias do número de folhas.

**Tabela 16** Número de folhas durante o desenvolvimento da cultura no campo

<b>Tratamento</b>	<b>20 DAS<sup>2</sup></b>	<b>40 DAS<sup>2</sup></b>	<b>60 DAS<sup>2</sup></b>	<b>80 DAS<sup>2</sup></b>
<b>Ad. Conv</b>	5,69 a <sup>1</sup>	11,37 a	12,56 a	11,87 a
<b>Testemunha</b>	5,56 a	11,37 a	13,12 ab	12,12 a
<b>2,5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	5,94 a	11,44 a	13,12 ab	12,94 a
<b>5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	6,00 a	11,56 a	13,06 ab	12,62 a
<b>10 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	5,69 a	12,25 a	12,69 a	12,00 a
<b>15 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	6,00 a	11,87 a	13,94 b	12,25 a
<b>Média Geral</b>	5,81	11,65	13,08	12,30
<b>CV(%)</b>	8,72	8,85	8,33	9,35

<b>DMS</b>	0,52	1,06	1,12	1,19
<b>NºObs</b>	96	96	96	96

<sup>1</sup>Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>2</sup> Dias após a semeadura.

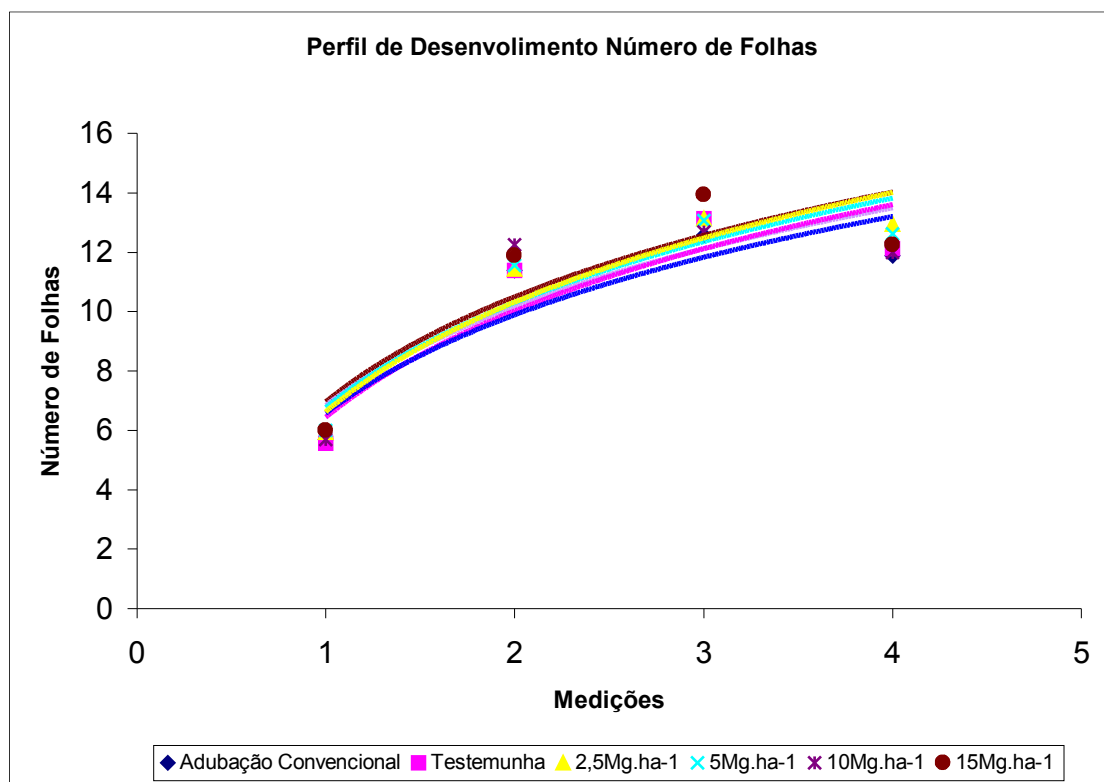
Em relação ao número de folhas aos 20 e 40 DAS, não foram observadas diferenças estatísticas entre as médias.

Aos 60 DAS, observou-se diferença significativa entre as médias, onde o tratamento que empregou 15 Mg.ha<sup>-1</sup> de bio sólido destacou-se entre os tratamentos, no entanto não diferindo estatisticamente dos tratamentos que empregaram 5 Mg.ha<sup>-1</sup> e 2,5 Mg.ha<sup>-1</sup> e da testemunha.

Aos 80 DAS, não houve diferença significativa entre as médias, no entanto matematicamente a maior média foi obtida no tratamento que empregou 2,5 Mg.ha<sup>-1</sup> de bio sólido.

A Figura 13 ilustra o perfil do número de folhas durante o desenvolvimento da cultura.

Os resultados obtidos mostraram-se semelhantes aos encontrados por BREDA (2003).



**Figura 13** Perfil do número de folhas durante o desenvolvimento

De uma maneira geral, apesar de não haver diferença estatística entre as médias, pode-se afirmar que para os parâmetros de desenvolvimento da cultura as maiores médias foram obtidas nos tratamentos que empregaram o biofósforo nas diferentes dosagens, quando comparados com a testemunha e adubação convencional. BREDA (2003), que acompanhou outros parâmetros além dos acompanhados no presente trabalho também observou tais resultados, assim como MARQUES et al. (1997) que observaram melhores respostas para a cultura do milho nos tratamentos que empregaram lodo. SIMONETE & KIEHL (2002) observaram aumento de matéria seca em plantas de milho com o aumento da dose de lodo, bem como MARTINS et al. (2003) aumento linear da massa seca de milho com a adição de lodo de esgoto.

#### 4.4 Componentes de Produção

Na Tabela 17, são apresentados os resultados dos componentes de produção, obtidos ao término do ciclo da cultura, sendo eles: diâmetro e

comprimento das espigas, número de plantas úteis e massa de grãos. Todos os parâmetros apresentaram normalidade.

**Tabela 17 Componentes de produção**

<b>Tratamento</b>	<b>Diâmetro Espigas (cm)</b>	<b>Comprimento Espigas (cm)</b>	<b>Plantas Úteis ha<sup>-1</sup></b>	<b>Massa de Grãos (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Ad. Conv</b>	4,81 a <sup>1</sup>	17,09 a	57291,67 a	4323,34 a
<b>Testemunha</b>	4,89 ab	18,02 abc	57812,50 a	4358,00 a
<b>2,5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	4,87 ab	17,61 ab	53645,83 a	4649,33 a
<b>5 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	4,98 ab	18,00 abc	58854,17 a	5470,58 a
<b>10 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	4,95 ab	18,32 bc	54166,67 a	4745,32 a
<b>15 Mg.ha<sup>-1</sup></b>	5,08 b	19,00 c	54166,67 a	6131,06 a
<b>Média Geral</b>	4,93	18,01	55989,58	4946,27
<b>CV(%)</b>	7,08	10,33	7,73	17,52
<b>DMS</b>	0,22	1,20	9950,37	1991,59
<b>NºObs</b>	240	240	24	24

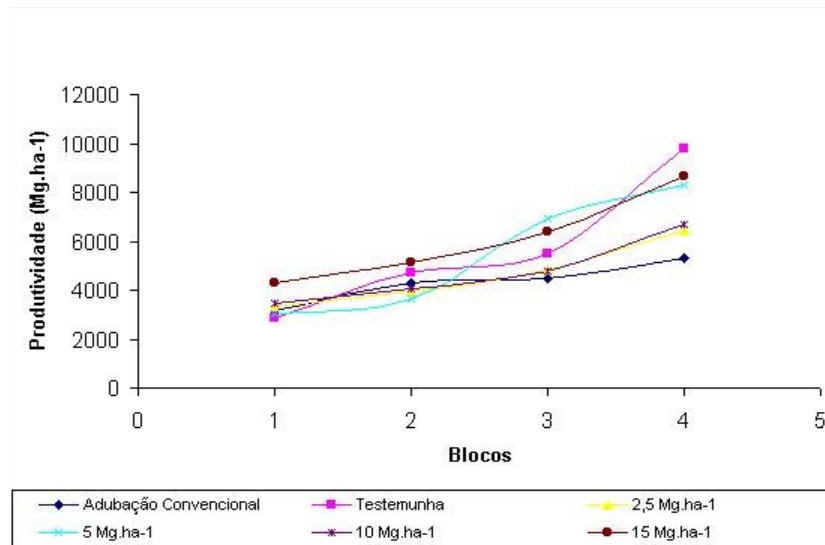
<sup>1</sup>Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para o diâmetro das espigas, houve diferença significativa entre os tratamentos. A maior média foi obtida no tratamento que empregou a maior dosagem de bio sólido (15 Mg.ha<sup>-1</sup>) a qual não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção da adubação convencional, a qual apresentou a menor média.

Tais resultados estão de acordo com MARQUES et al. (1997), que observaram aumento do material seco de sabugos com o aumento da dosagem de lodo sendo superior ao valor observado no tratamento que empregou adubação mineral, ao contrário de BREDA (2003) que obteve resultados iguais nos tratamentos com lodo e adubação convencional.

Para o comprimento das espigas, notou-se diferença significativa entre os tratamentos empregados, sendo que a maior dosagem de bio sólido obteve maior valor, não diferindo, no entanto, estatisticamente das dosagens de 5 e 10 Mg.ha<sup>-1</sup> e da testemunha. Tal resultado difere do valor encontrado por BREDA (2003), o qual observou médias estatisticamente iguais nas diferentes dosagens de lodo e adubação convencional.

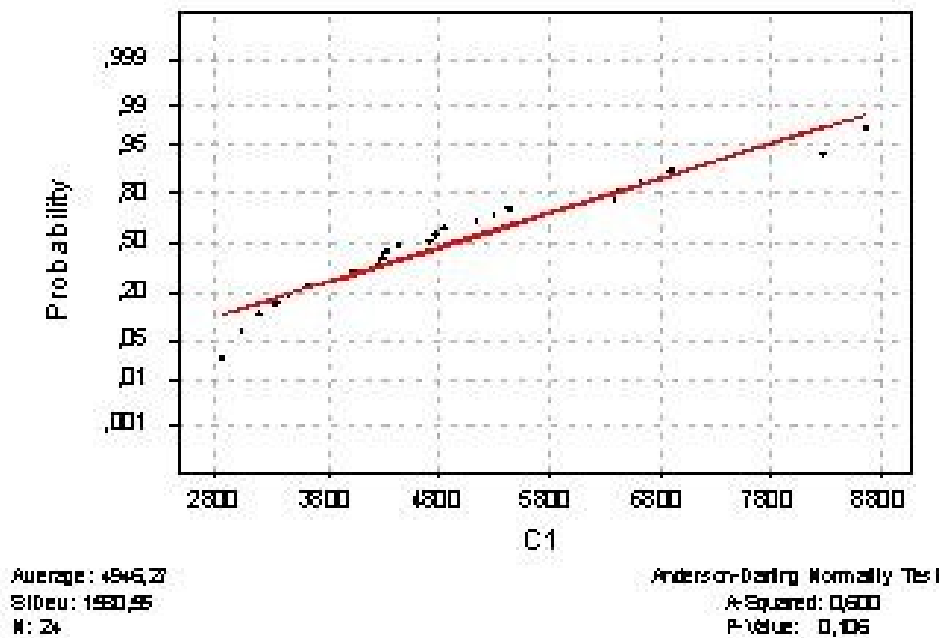
Ao considerar massa de grãos, vê-se um alto coeficiente de variação devido à diferença de valores observados nas parcelas dos blocos 1 e 2 em relação ao 3 e 4 (Figura 14).



**Figura 14** Produtividade de Grãos para os quatro blocos do experimento.

Com o objetivo de verificar a existência de normalidade dos dados, foi aplicado o teste de normalidade de Anderson Darling (Figura 15).

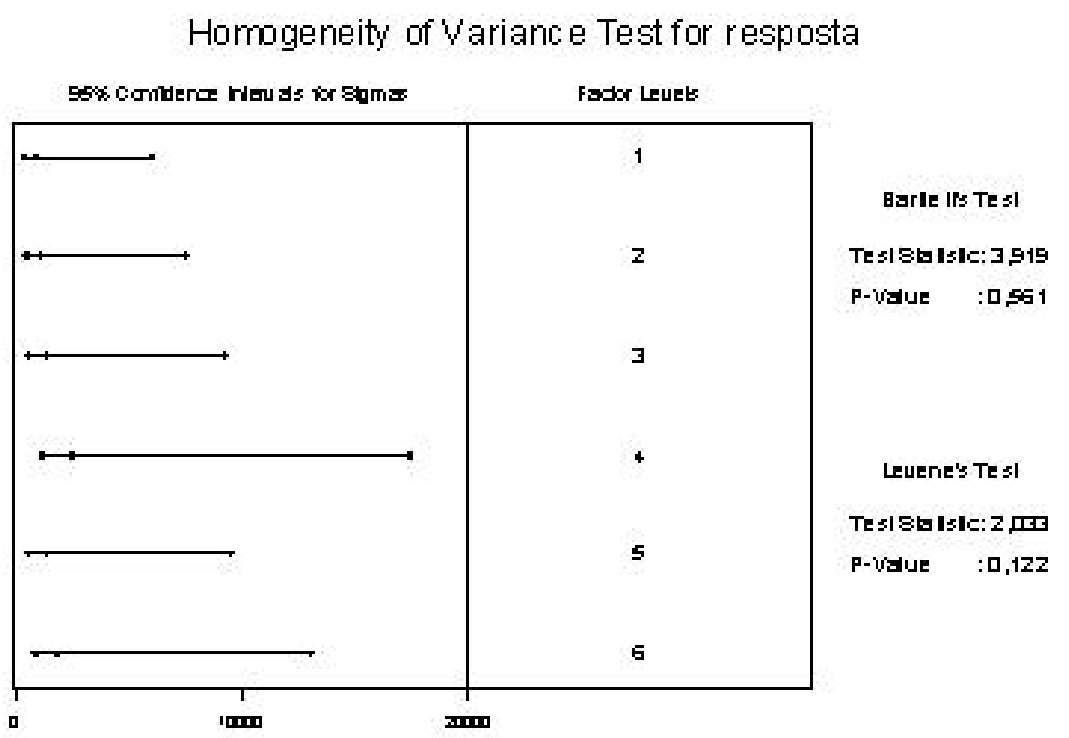
### Normalidade Produtividade



**Figura 15** Resultados teste de Normalidade Anderson-Darling.

Percebe-se que os dados apresentam uma curva normal, e que p-value mostra ser superior a 0,05. Pode-se verificar que os dados possuem normalidade e, portanto, podem ser submetidos à análise de variância.

A fim de se averiguar a homogeneidade das variâncias os dados foram submetidos ao teste de Barlett e Levene (Figura 16), demonstrando que os erros possuem variância homogênea, uma vez que para ambos os testes p-value possui valor superior a 0.05, não se rejeitando assim a igualdade das variâncias entre os tratamentos.



**Figura 16** Homogeneidade da variância.

Assim, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias submetidas ao teste de comparação de médias ao nível de 5% de significância, cujos resultados apresentam-se na Tabela 17 e Figura 17. As médias dos tratamentos empregados são consideradas estatisticamente iguais, uma vez que a diferença mínima significativa (DMS) de acordo com teste de Tukey para comparação de médias mostrou-se inferior a 1991,59 Kg.ha<sup>-1</sup>.

Considerando-se os dados matematicamente, pode-se verificar que o tratamento que empregou a adubação convencional apresentou o menor valor médio, sendo inferior até mesmo à testemunha. Comparando-se a testemunha com o tratamento 15 Mg.ha<sup>-1</sup>, que demonstrou maior média, observa-se



aumento de 41,81% na produção (Figura 18).

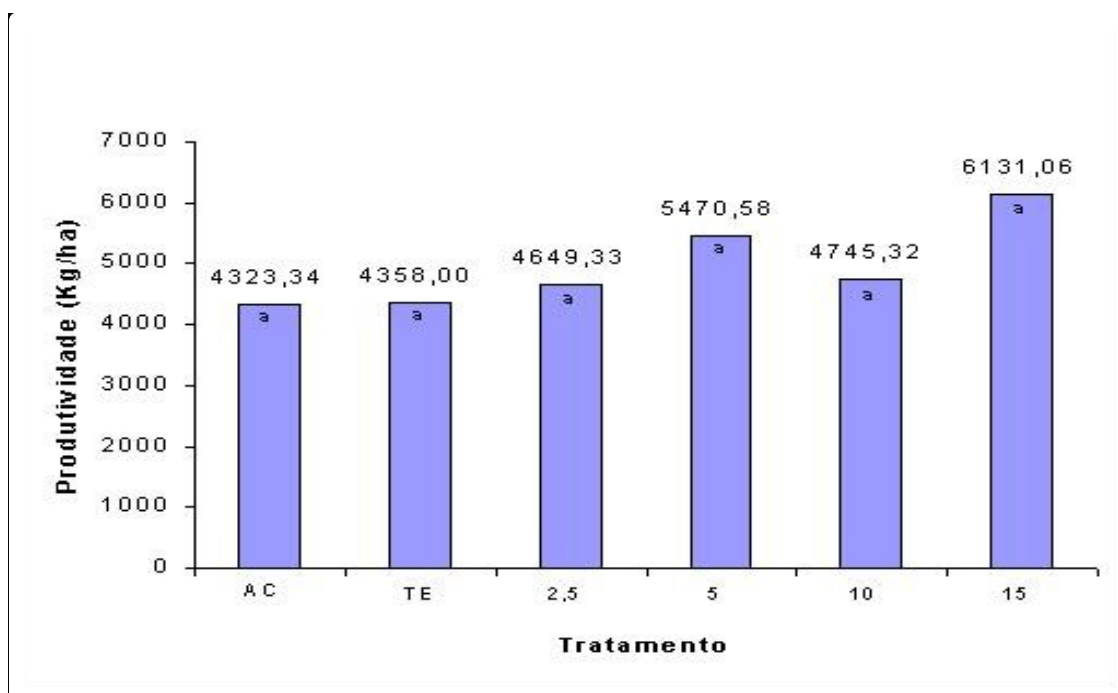


Figura 17 Produtividades médias dos tratamentos.

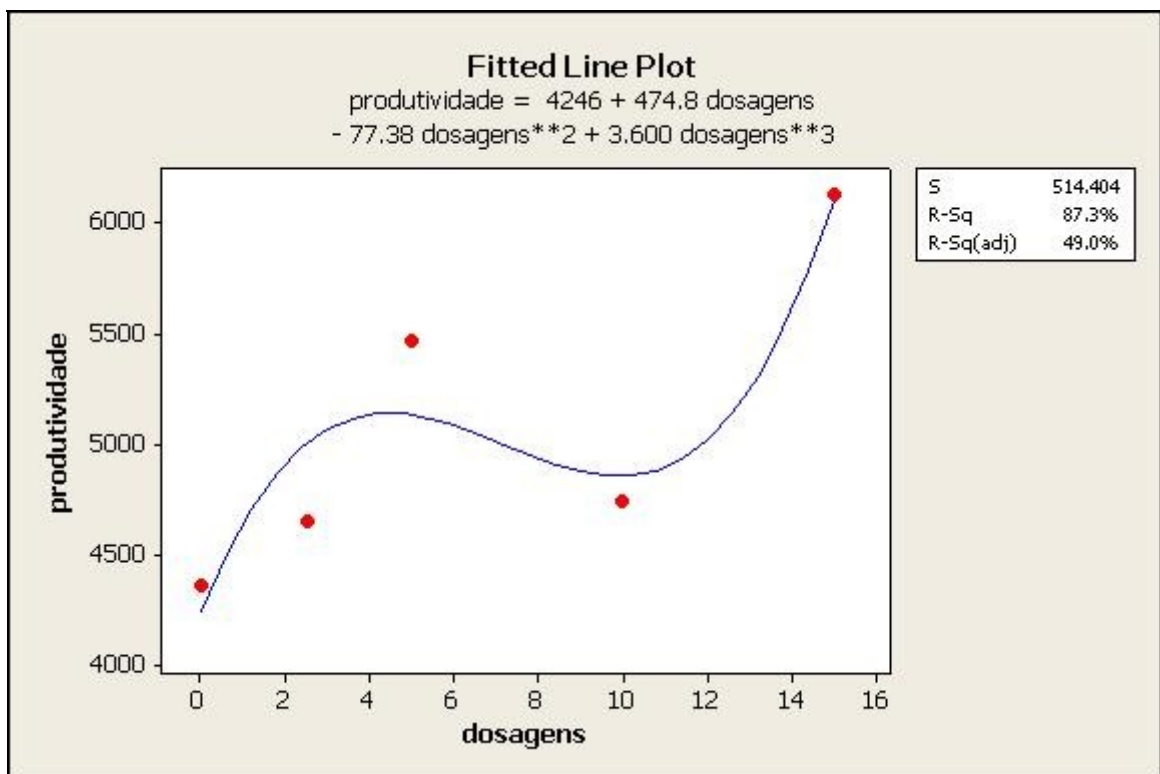
Diferenças entre adubação convencional e biofóssido, em relação à produtividade, foram observadas por LOURENÇO, ANJOS & MEDRADO (1996) tanto na cultura do milho quanto na do feijão, cuja dosagem ideal segundo análise de regressão seria de 66 Mg.ha<sup>-1</sup> de biofóssido para o milho e 43 Mg.ha<sup>-1</sup> para o feijão; MIRANDA & BISCAIA (1996), mesmo aplicando 60 Mg.ha<sup>-1</sup> de biofóssido, não observaram sintomas de toxicidade no desenvolvimento da cultura do milho obtendo maior produtividade para esta dosagem; MARQUES et al. (1997), BREDA (2003) e MELO et al. (1997) obtiveram maior produtividade com 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de lodo bruto para a cultura do milho; KUAI, DOULAMI & VERSTRAETE (2000) obtiveram um aumento de aproximadamente 20% na cultura do milho em relação à adubação química convencional; SIMONETE & KIEHL (2002) e MARTINS et al. (2003) obtiveram aumento linear com a adição de lodo de esgoto chegando a dosagem de 80 Mg.ha<sup>-1</sup>.

Analisando as dosagens de biofóssido a fim de avaliar qual foi o melhor tratamento em relação à resposta produtividade, os dados foram submetidos à análise de regressão, avaliando a produtividade média nos tratamentos que

empregaram lodo de esgoto nas seguintes quantidades: 0; 2,5; 5; 10 e 15 Mg.ha<sup>-1</sup>. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o cúbico, apresentando uma coeficiente de correlação de 87,3%, dada pela seguinte equação:

$$Produtividade = 3,6 * dose^3 - 77,38 * dose^2 + 474,8 * dose + 4246$$

Onde a produtividade é apresentada em kg.ha<sup>-1</sup> as doses em Mg.ha<sup>-1</sup>.



**Figura 18** Análise de regressão das produtividades médias dos tratamentos que empregaram lodo de esgoto

Pode-se verificar que apesar de não haver diferença estatística significativa entre as médias, os tratamentos apresentaram comportamento cúbico, alcançando a produtividade máxima na dosagem de 15 Mg.ha<sup>-1</sup> de bio sólido, sendo a menor média observada no tratamento que empregou a adubação convencional.

## CONCLUSÕES

- Observou-se pequeno incremento dos metais Cobre e Zinco no solo, provavelmente em função do baixo teor dos elementos adicionados a ele, bem como às baixas dosagens de biofósforo empregadas no experimento em questão.
- Para os parâmetros de desenvolvimento da cultura, as melhores respostas, embora nem todas estatisticamente diferentes, foram obtidas nos tratamentos que empregaram o biofósforo nas diferentes dosagens, quando comparados com a testemunha e adubação convencional.
- Para o diâmetro das espigas houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo a maior média obtida no tratamento que empregou  $15 \text{ Mg.ha}^{-1}$  de biofósforo.
- Para o parâmetro comprimento das espigas observou-se diferença significativa entre os tratamentos empregados, sendo que a maior dosagem de biofósforo apresentou maior valor.
- Não houve diferença estatística entre as médias de produtividade dos tratamentos.
- A maior média obtida foi de  $6131,06 \text{ Kg.ha}^{-1}$  para o tratamento que empregou  $15 \text{ Mg.ha}^{-1}$  de biofósforo, sendo 41,81% superior à produtividade obtida com a adubação convencional
- As dosagens de lodo nos diferentes níveis utilizados no trabalho apresentaram um comportamento cúbico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C.A.; MATIAZZO, M.E. **Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de Eucalyptus grandis.** Scientia Forestalis, nº58, p.59-72 (2000)

ANDRAUS, S.; BORGES, J. C.; MEDEIROS, M.L.B.; Toledo, E.B.S.; **Eficiência da Calagem na Remoção de Bactérias Entéricas, no Lodo Aeróbio da ETE-Belém, em Curitiba-Pr.** Revista Sanare, v.10, nº10, p.57-62 (1998)

ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. **Manual de métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto** Curitiba, Sanepar, 1998. 80p.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto.** Curitiba: Sanepar, Financiadora de estudos e projetos (FINEP), 1997. 71p.

ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções.** Curitiba: Sanepar, Financiadora de estudos e projetos (FINEP), 1999. 300p.

ANDREOLI, C.V.; PINTO, M.A.T. **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Projeto PROSAB. 282p.

ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. **Metais Pesados em Plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido.** Scientia Agrícola, v.57, nº4 (2000)

BARBOSA, G.M.C; TAVARES, J.F.; FONSECA, I.C.B. **Avaliação de Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico Tratado com Lodo de Esgoto por Dois Anos Consecutivos.** Revista Sanare, v.19, nº19 (2003)

BASTA, N.T.; PANTONE, D.J.; TABATABAL, M.A. **Path análisis of heavy metal adsorption by soil.** Jornal Agrônômico, 85, p.1054-1057 (1993)

BERTI, W.R.; JACOBS, L.W. **Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications.** Journal of Environmental Quality, v.25, p.1025-1032 (1996)

BHOGAL, A.; NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B.J.; SHEPHERD, M.A. **Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes.** Environmental Pollution 121, p.413-423 (2003)

BIDWELL, A.M.; DOWDY, R.H. **Cadmium and zinc availability to corn following termination of sewage sludge applications.** Journal of Environmental Quality, v.16, p.438-442 (1987)

BISCAIA,R.C.M.;MIRANDA,G. Uso de lodo de esgoto calado na produção de Milho. **Revista SANARE.** SANEPAR. Curitiba, v.5, nº 5, p.86-89, janeiro a junho 1996.

BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. **Metais Pesados no solo após aplicação de Biossólido. II-Disponibilidade.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.557-568 (2004)

BREDA, C.C. **Utilização de lodo de efluente doméstico: efeitos na produtividade agrícola e em alguns aspectos ambientais.** 143f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, São Paulo, 2003.

CARVALHO, P.C.T.;CARVALHO, F.J.P.C. **Legislação Sobre Biossólidos.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SABESP, 1ª Edição, 2001. p. 209-226.

CHANG, A.C.; HYUN, H.N.; PAGE, A.L. **Cadmium Uptake for Swiss Chard Grown on Composted Sewage Sludge Treated Field Plots: Plateau ou Time Bomb?** Journal Environmental Quality, v.26, p.11-20 (1997)

CHE FAUZIAH I.; ROSENANI A. B.; ROSAZLIN, A. **Sewage Sludge Application to Corn: Heavy Metals Uptake and Soil Fractionation Study.** Symposium nº 24, Paper nº 734, Presentation: poster (2002)

CHINO, M. ET AL **Behavior of zinc an Koper insoil with long term application of sewage sludges.** Soil Science and Plant Nutrition, Bunkyon-ku, v.38, nº1, p.159-167 (1992)

DOWDY, R.H. ET AL **Trace metal movement in an aeric ochraqualf following 14 years of annual sludge applications.** Journal of Enviromental Quality, Madison, v.20, nº1, p.119-123 (1991)

FERNANDES, F. (Coord.). **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1ª edição, 1999. 84p.

FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V. **Principais fatores limitantes (metais pesados e patógenos) para o uso agrícola do lodo e esgotos no Paraná.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, CD-ROM (1997)

FERREIRA,A.C.;ANDREOLI,C.V.;JÜRGENSEN,D. **Produção e Características dos Biossólidos**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro, 1ª edição, 1999. p.16-25.

FERREIRA,A.C.;ANDREOLI,C.V.;LARA,A.I. **Riscos Associados ao Uso do Lodo de Esgoto**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro, 1ª edição, 1999. p.29-33.

GASPARD, P.G.; WIART, J.; SCHWARTZBROD, J. **Sludge Reuse in Agriculture: Waste Treatment and Parasitological Risk**. Bioresource Technology 52, p. 37 – 70 (1995)

GASPARD, P.; WIART, J. SCHWARTZBROD, J. **Parasitological Contamination of Urban Sludge Used for Agricultural Purposes**. Waste Management & Research 15, p. 429 – 436 (1997)

GONÇALVES,R.F.;LUDUVICE,M.;LIMA,M.R.P.;RAMALDES,D.L.C.;FERREIRA ,A.C.;TELES,C.R.;ANDREOLI,C.V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Projeto PROSAB. p.57-86.

HANDEEL,A.V.;CAVALCANTI,P.F.F. **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Projeto PROSAB. p.3-27.

ILHENFELD, R.G.K.;ANDREOLI,C.V.;LARA,A.I. **Riscos Associados ao Uso do Lodo de Esgoto**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro, 1ª edição, 1999. p.35-45.

ILHENFELD,R.G.;PEGORINI,E.S.;ANDREOLI,C.V. **Fatores Limitantes**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro, 1ª edição, 1999. p.46-63.

**Instrução Normativa para Reciclagem Agrícola de Lodo e Esgoto no Paraná, IAP – A ser publicada.**

JARAUSCH-WEHRHEIM, B.; MOCQUOT, M.; MENCH, M. **Uptake and Partitioning of Sludge-Borne Copper in Field-Grown Maize (Zea mays L)**. European Journal of Agronomy 5, p. 259-271 (1996)

JARAUSCH-WEHRHEIM, B.; MOCQUOT, M.; MENCH, M. **Absorption and translocation of Sludge-Borne Zinc in Field-Grown Maize (Zea mays L)**. European Journal of Agronomy 11, p. 23-33 (1999)

KUAI, L.; DOULAMI, F.; VERSTRAETE. **Sludge Treatment and Reuse as Soil Conditioner for Small Rural Communities**. Bioresource Technology 73, p. 213 – 219 (2000)

LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M.; MEDRADO, M.J.S. **Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da Bracatinga.** Revista Sanare, v.5, nº5, p.90-92 (1996)

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola, adubos e adubação.** 3ª edição, Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 1981.

MARQUES, M.O.;MELO,W.J.;MARQUES,T.A. **Metais Pesados e o Uso de Biossólidos na Agricultura.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SABESP, 1ª Edição, 2001. p. 365-403.

MARQUES, M.O.; TSUTIYA, M.T.; MELO, W.J.; 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.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, CD-ROM (1997)

MARQUES, T.C.L.L.S.E.M.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Crescimento e Teor de Metais de Mudanças de Espécies Arbóreas Cultivadas em Solo Contaminado com Metais Pesados.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, nº1, p.121-132 (2000)

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H. **Produção de grãos e absorção de Cu, Fe e, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.563-574 (2003)

MELO, W.J.; Marques, M.O.; Melo, V.P. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo.** In: Tsutiya, M.T. et al. Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, 2001. p.289-363

MELO, W.J.; TSUTIYA, M.T.; MARQUES, M.O.; SOUZA, A.H.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.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, CD-ROM (1997)

MELO,W.J.;MARQUES,M.O.;MELO,V.P. **O Uso Agrícola do Biossólido e as Propriedades do Solo.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SABESP, 1ª Edição, 2001. p. 289-363.

MIRANDA, G.M.; BISCAIA, R. C. M. **Uso de lodo de Esgoto Calado na Produção de Milho.** Revista Sanare, Volume 5, nº5, p. 86-89 (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**

**Aplicação de Lodo de Esgoto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p. 383-392 (2004)

OLIVEIRA, C. F.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, R.C.; ABREU, C.H.J. **Movimentação de Metais Pesados em Latossolo Adubado com Composto de Lixo Urbano.** Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V. 37, nº 12, p. 1787 – 1793 (2002)

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. **Mobilidade de Metais Pesados em um Latossolo Amarelo Distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com Cana-de-açúcar.** Scientia Agrícola, v.58, nº4, p.807-812 (2001a)

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. **Metais Pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto em plantas de cana de açúcar.** Scientia Agrícola, v.58, nº3, p.581-593 (2001b)

PIGOZZO, A.T.J. **Disposição de Lodo de Esgoto: Acúmulo de metais pesados no solo e em plantas de milho (Zea mays L.). 200f.** Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, São Paulo, 2003.

PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E. **Biosolids conditioning and the availability of Cu and Zn for rice.** Scientia Agrícola, v.6, nº1, p.161-166 (2003)

PORTEOUS, A. **Dictionary of Environmental Science and Technology.** New York: John Wiley, 1994. 439p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do Solo e Adubação.** Editora Agronômica Ceres Ltda, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato: São Paulo; Piracicaba. 1997. 343p.

SALLES, R.F.M.; DESCHAMPS, C. **Efeito dos Teores de Metais Pesados nos Frutos de Macieira (Malus domestica) Submetida à Aplicação de Lodo de Esgotos como Fertilizante Orgânico.** Revista Sanare, v.11, nº11, p.44-50 (1999)

SANEPAR. **Manual Técnico para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná.** Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, 1997. 96p.

SANEPAR. **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto.** 2ª Edição, Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, 2000.

SILVA, M.S.; SOUZA, S.N.; LENZI, E.; LUCHESE, E.B. **Comportamento do Chumbo (Pb) em Latossolo Vermelho Escuro Textura Média Tratado com Lodo Contaminado e sua Absorção pelas Plantas.** Acta Scientiarum, v.20, nº4, p. 427-432 (1998a)



SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. **Cana-de-açúcar Cultivada em Solo Adubado com Lodo de Esgoto: Nutrientes, Metais Pesados e Produtividade.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, nº1, p.1-8 (1998b)

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. **Efeito de Lodo de Esgoto na Fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Cultivado com Cana-de-Açúcar.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, nº5, p.834-840 (2001)

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C. **Extração e Fitodisponibilidade de Metais em Resposta à Adição de Lodo de Esgoto no Solo.** Scientia Agrícola, v.59, nº3, p. 555-563 (2002)

SIMS, J.T.; KLINE, J.S. **Chemical fractionation plant uptake of heavy metals in soils amended with co composted sewage sludge.** Journal Environmental Quality, v.20, p.387-395 (1991)

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, v.1, 2ª edição revisada, 1996. 243p.

SUMAIA, A.; BORGES, J.C.; MEDEIROS, M.L.B.; TOLEDO, E. B. S. **Sobrevivência de bactérias entéricas do lodo de esgoto, em solo agrícola.** Revista Sanare, v.8, nº8 (1997)

TAYLOR, R. W. ET AL **Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge-amended soil.** Communications in Soil Science Plant Analysis, New York, v.26, nº13-14, p.2193-2204 (1995)

TSUTIYA, M.T. **Características de Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgotos.** In Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SABESP, 1ª Edição, 2001a. p. 89-131.

TSUTIYA, M.T. **Alternativas de Disposição Final de Biossólidos.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SABESP, 1ª Edição, 2001b. p. 133-208.

VANZO, J.E.;MACEDO,L.S.;TSUTIYA,M.T. **Registros da Produção de Biossólidos. O caso da ETE Franca.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Biossólidos na Agricultura. São Paulo, SABESP, 1ª Edição, 2001. p. 227-242.

WILLIAMS, D.E. ET AL. **Metal movement in sludge-treated soils after six years of sludge addition: 1. Cadmiun, copper, lead and zinc.** Soil Science, Baltimore, v. 143, nº2, p.124-131 (1987).