

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOUTORADO
TEMÁTICO EM RECURSOS NATURAIS**

**BIOSSÓLIDO COMO FONTE DE NUTRIENTES
PARA O ALGODÃO HERBÁCEO E SEU
EFEITO RESIDUAL NO MILHO**

ROSELENE DE LUCENA ALCÂNTARA

Orientadores

Dra. Annemarie König

Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão

Campina Grande - Paraíba

2003

ROSELENE DE LUCENA ALCÂNTARA

**Biossólido Como Fonte de Nutrientes Para o
Algodão Herbáceo e Seu Efeito Residual no Milho**

Tese apresentada ao Programa Institucional de
Doutorado Temático em Recursos Naturais da
Universidade Federal de Campina Grande, em
cumprimento às exigências para obtenção do
Título de Doutor em Recursos Naturais (Área
de Concentração: Recursos Hídricos).

Orientadores

Dra. Annemarie König

Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão

**Campina Grande - Paraíba
2003**

A349b Alcântara, Roselene de Lucena.

Biossólido como fonte de nutrientes para o algodão herbáceo e seu efeito residual no milho. / Roselene de Lucena Alcântara. - Campina Grande - PB: [s.n], 2003.

178 f.

Orientadores: Professora Dr^a. Annemarie Konig;
Professor Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão.

Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Lodo de esgoto - uso na agricultura. 2. Cotonicultura. 3. Algodão herbáceo colorido BRS. 4. Milho híbrido AG 1051. 5. Cultura do milho. 6. Cultura do algodão herbáceo colorido. 7. Adubação mineral. 8. Adubação orgânica. 9. Calagem. 10. Redução de patógenos - lodo de esgoto. 11. Disposição do lodo de esgoto. 12. Aplicação do lodo de esgoto - culturas. 13. Lodo anaeróbio. 14. Reator anaeróbio. 15. Biossólido - nutrição vegetal. I. Konig, Annemarie. II. Beltrão, Napoleão Esberard de Macêdo. III. Título.

CDU:633.51:628.32(043.3)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

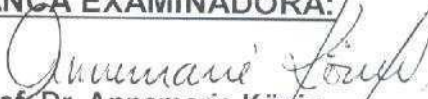
Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

ROSELENE DE LUCENA ALCANTARA

BIOSSÓLIDO COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA O ALGODÃO
HERBÁCEO E SEU EFEITO RESIDUAL NO MILHO

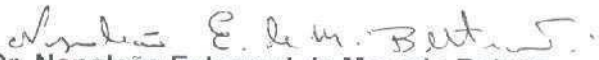
APROVADA EM: 28/04/2003

BANCA EXAMINADORA:



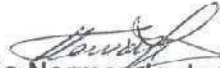
Prof. Dr. Annemarie König

Departamento de Engenharia Civil – DEC
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão

Embrapa Semi-Árido – CNPA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA



Prof. Dr. Henio Normando de Sousa Melo

Departamento de Engenharia Civil – DEC
Centro de Tecnologia - CT
Universidade Federal do Rio grande do Norte - UFRN



Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

Departamento de Engenharia Civil – DEC
Centro de Tecnologia - CT
Universidade Federal do Ceará - UFC



Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Departamento de Engenharia Agrícola – DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos

Departamento de Engenharia Civil – DEC
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Dedicatória

A meus pais, *Geraldo Gomes Alcântara e Milady Lucena Alcântara - meus amores de sempre,* por tudo que sempre foram e são para mim, principais responsáveis por minha formação moral, intelectual, espiritual e profissional.

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados, pelo constante incentivo, dedicação e apoio moral prestados.

À minha afilhada *Évine Alcântara Barbosa Leite,* que na sua inocência de criança me deu estímulo para prosseguir na jornada.

Agradecimentos

A Deus, que me deu perseverança para transpor os obstáculos desta caminhada e serenidade para aceitar as coisas que não posso mudar, coragem para tentar mudar às que posso e sabedoria para distinguir entre elas. *“Em qualquer projeto, o importante é aquilo em que acreditamos. Sem convicção não poderá haver bom resultado”*.

À minha família, incentivadores constantes... *“Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado com certeza chegará mais longe”*.

À professora Annemarie Konig, pela orientação, dedicação, sugestões, presteza, fornecimento de material bibliográfico, ensinamentos transmitidos e correções no decorrer do trabalho.

Ao professor Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, pela orientação, dedicação, presteza, oportunidade de trabalho, ensinamentos transmitidos, correções e apoio prestados desde o início.

Ao professor Hans Raj Gheyi, pelo apoio, atenção e valiosa contribuição prestados desde o início.

A meus pais, que participaram e ajudaram em todas as etapas da jornada, inclusive da fase experimental.

À minha irmã Riselane de Lucena Alcântara Bruno e ao meu cunhado Genildo Bandeira Bruno, pela ajuda, orientação, disposição e valiosa contribuição prestados ao longo do curso. *“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”*.

Em destaque aos colegas de curso, Célia Regina Diniz, Cláudia Coutinho Nóbrega e Kennedy Lucena, pela amizade surgida. *“A amizade multiplica as coisas boas e divide as más”*.

Às colegas da “casa de vegetação”, Carla, Marcela e Morgana, e a mestrandia Olga Eduarda pela oportunidade de convivência e aprendizado.

Ao colega Juarez Paz Pedroza, pelas informações transmitidas no início da fase experimental.

À minhas irmãs e ao meu irmão, por compartilharem de meus ideais e os alimentarem, incentivando-me a prosseguir nesta jornada, fossem quais fossem os obstáculos mantiveram-se sempre ao meu lado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido.

À Fundação Nacional da Saúde (FUNASA), pelo apoio financeiro.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/Algodão), pelo apoio e oportunidade de realização da parte experimental.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade da realização profissional.

À Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA), pela concessão do solo.

À Mibra Minérios S. A. pela concessão da cal.

Ao MSc. José Wellington Soares e Márcio Farias de Moura, pela realização da análise estatística.

Ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), na pessoa dos professores. Adriannus C. van Haandel e Paula Franssinete, pela concessão do lodo.

À Coordenação do Curso de Doutorado em Recursos Naturais na pessoa do professor Pedro Vieira de Azevedo, e da secretaria Cleide dos Santos.

Aos professores do Curso de Doutorado em Recursos Naturais, pelos ensinamentos transmitidos. *“Uns são homens; alguns são professores; poucos são mestres. Aos primeiros, escuta-se; aos segundos, respeita-se; aos últimos, segue-se”*.

A todos os funcionários do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, em destaque para Napoleão Silveira, Sr. Fernando, Teresa, Sr. Narciso e Jailton, pelo tão afável tratamento e presteza no atendimento.

Ao Laboratório de Análises de Solo, nas pessoas de Rosa, Sr. Francisco, Jânio e Valdomiro; ao Laboratório de Fibras e Fios, nas pessoas dos Drs. João Cecílio e Guilherme.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil, Área de Saneamento, Alves, Cristina e Walmária, e aos bolsistas do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, em destaque para Eddy, Thaís, Hugo, Mariana e Andreza, pela colaboração concedida desde o início e ajuda nas atividades laboratoriais.

Ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, na pessoa da coordenadora professora Beatriz S. O. Ceballos, pela oportunidade de realização das análises físico-químicas e microbiológicas.

Enfim, a todos os colegas que junto comigo palmilharam esta escalada, desejo que tenham êxito no caminho que seguirem.

Às pessoas que me ajudaram em mais esta realização na busca dos meus propósitos acadêmicos, os meus sinceros agradecimentos...

“Amanhã, quando nossos passos forem mais firmes, nossos anseios mais concretos e realizados, resta-nos sempre a lembrança daqueles que muito contribuíram para isto”.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIACÕES.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	3
2.1 Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Lodo de Esgoto.....	4
3.1.1 Processo de Desinfecção.....	7
3.1.1.1 Classificação.....	13
3.1.1.1.1 Processos de Avançada Redução de Patógenos.....	13
3.1.1.1.2. Processos de Significativa Redução de Patógenos.....	14
3.2 Considerações Sobre a Utilização do Lodo.....	15
3.2.1 Metais Pesados.....	19
3.2.2 Principais Microrganismos Patogênicos.....	24
3.2.3 Nutrientes.....	31
3.3 Alternativas de Disposição do Lodo.....	34
3.4 Legislação e Normas Brasileiras.....	43
3.5 Efeito da Aplicação do Lodo de Esgoto em Diferentes Culturas.....	44
3.6 Culturas Utilizadas no Trabalho.....	53
3.6.1 Algodão.....	53
3.6.2 Milho.....	57
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1 Localização dos Experimentos.....	59
4.2 Solo.....	59
4.3 Adubação Orgânica.....	59
4.3.1 Lodo.....	59
4.3.1.1 Processos de Desinfecção.....	60
4.3.2. Esterco Bovino.....	61
4.4. Adubação Mineral.....	61
4.5 Água de Irrigação.....	61
4.6 Delineamento Estatístico.....	61
4.7 Experimento I – Algodão.....	62
4.8 Variáveis Estudadas.....	63
4.8.1 Altura de Plantas.....	63
4.8.2 Diâmetro Caulinar.....	63
4.8.3 Fitomassa.....	64
4.8.4 Produção.....	64
4.8.5 Qualidade Tecnológica da Fibra.....	64
4.9. Análise Estatística.....	65
4.10 Líquido Percolado.....	65
4.11 Experimento II – Milho.....	66
4.11.1 Área Foliar.....	66
4.11.2 Análise Foliar.....	67

4.12 Análise de Solo.....	67
4.13 Análise Estatística.....	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5.1 Caracterização Bacteriológica, Parasitológica, Física e Química dos Materiais Utilizados.....	68
5.1.1 Solo.....	68
5.1.2 Lodo.....	87
5.1.3 Esterco.....	91
5.1.4 Água de Irrigação.....	92
5.2 Caracterização Bacteriológica e Parasitológica dos Tratamentos que Receberam Lodo.....	93
5.3 Teores de Metais Pesados no Solo, Lodo Seco e Calado.....	94
5.4 Caracterização Física e Química do Líquido Percolado.....	96
5.5 Variáveis Estudadas.....	98
5.5.1 Experimento I - Algodão.....	98
5.5.2 Análise de Crescimento.....	99
5.5.3 Fitomassa.....	106
5.5.4 Produção.....	111
5.5.5 Qualidade Tecnológica da Fibra.....	121
5.5.6 Experimento II - Milho.....	122
5.5.7 Análise Foliar.....	136
6. CONCLUSÕES.....	149
7. RECOMENDAÇÕES.....	150
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
ANEXOS.....	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Distribuição dos blocos e tratamentos em casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão.....	62
Figura 2 -	Teor de cálcio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs adubo mineral (C). B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	71
Figura 3 -	Teor de cálcio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A), fatorial vs adubo mineral (B) e entre fatorial vs esterco (C).....	72
Figura 4 -	Teor de sódio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs adubo mineral (C). B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	74
Figura 5 -	Teor de potássio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	75
Figura 6 -	Teor de potássio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.....	76
Figura 7 -	Teor de alumínio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	78
Figura 8 -	Teor de fósforo do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	79
Figura 9 -	Teor de fósforo do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	80
Figura 10 -	Teor de nitrogênio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	82
Figura 11 -	Teor de nitrogênio do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A) e entre fatorial vs adubo mineral (B).....	83
Figura 12 -	Teor de matéria orgânica do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	84
Figura 13 -	Teor de matéria orgânica do solo no final dos experimentos, submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	85
Figura 14 -	Planta do algodoeiro herbáceo BRS-verde, em casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão.....	99
Figura 15 -	Altura de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes consistências e doses de lodo, em condições de casa de vegetação. A = lodo calado (pastoso) e B = lodo seco.....	100
Figura 16 -	Diâmetro do caule de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes consistências e doses de lodo, em condições de casa de vegetação. A = lodo calado (pastoso) e B = lodo seco.....	101
Figura 17 -	Altura final de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)....	102
Figura 18 -	Altura final de plantas de algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a	

	diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.....	103
Figura 19 -	Diâmetro final de caule em plantas de algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	104
Figura 20 -	Diâmetro de caule em plantas de algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação, A-C, comparação entre fatorial vs testemunhas e D, entre testemunhas.....	105
Figura 21 -	Fitomassa aérea em plantas de algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	107
Figura 22 -	Fitomassa aérea em plantas de algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunhas.....	108
Figura 23 -	Fitomassa radicular em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	109
Figura 24 -	Fitomassa radicular em plantas de algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunhas e D, entre testemunhas.....	110
Figura 25 -	Número de capulhos do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)....	112
Figura 26 -	Número de capulhos do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunhas e D, entre testemunhas.....	113
Figura 27 -	Rendimento (pluma+semente) do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	114
Figura 28 -	Rendimento em pluma do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)....	116
Figura 29 -	Rendimento (pluma + semente) do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunhas e D, entre testemunhas.....	118
Figura 30 -	Rendimento em pluma do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunhas.....	119
Figura 31 -	Porcentagem de fibra em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	120
Figura 32 -	Plantas de milho AG 1051, em casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão.....	122
Figura 33 -	Altura final de plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	124
Figura 34 -	Altura final de plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-B).....	125
Figura 35 -	Diâmetro caulinar em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação.	

	Comparação entre consistências (B) e entre fatorial vs solo (C). B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	126
Figura 36 -	Área foliar por folha em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	127
Figura 37 -	Área foliar por folha em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	128
Figura 38 -	Área foliar por planta na cultura de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	129
Figura 39 -	Área foliar por planta na cultura de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-B).....	130
Figura 40 -	Fitomassa radicular em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)....	132
Figura 41 -	Fitomassa radicular em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	133
Figura 42 -	Fitomassa aérea em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) do lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	134
Figura 43 -	Fitomassa aérea em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	135
Figura 44 -	Comprimento de raiz em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A).....	136
Figura 45 -	Teor de nitrogênio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	138
Figura 46 -	Teor de nitrogênio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	139
Figura 47 -	Teor de fósforo determinado em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 140	140
Figura 48 -	Teor de fósforo em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-B) e entre testemunhas (C).....	141
Figura 49 -	Teor de potássio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	142
Figura 50 -	Teor de potássio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).....	143
Figura 51 -	Teor de cálcio determinado em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). 145	145
Figura 52 -	Teor de cálcio determinado em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A) e fatorial vs esterco (B).....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Limites para microrganismos indicadores de contaminação fecal e microrganismos patogênicos de acordo com a classe de lodo.....	15
Tabela 2 -	Concentrações máximas permissíveis de metais pesados nos lodos de esgotos para uso agrícola.....	24
Tabela 3 -	Caracterização física e química no líquido percolado.....	66
Tabela 4 -	Caracterização física do solo.....	69
Tabela 5 -	Caracterização química do solo.....	69
Tabela 6 -	Caracterização bacteriológica do solo no início e no final dos experimentos.....	70
Tabela 7 -	Potencial hidrogeniônico (pH) (em água) do solo no fim dos experimentos para todos os tratamentos.....	87
Tabela 8 -	Caracterização bacteriológica do lodo no início do experimento.....	88
Tabela 9 -	Caracterização parasitológica do lodo no início do experimento.....	89
Tabela 10 -	Caracterização física e química do lodo conforme recebido e após ser submetido à calagem e a secagem ao ar.....	89
Tabela 11 -	Caracterização física e química do lodo no início do experimento.....	92
Tabela 12 -	Caracterização física e química do esterco bovino.....	92
Tabela 13 -	Caracterização bacteriológica do esterco bovino no início dos experimentos.....	92
Tabela 14 -	Caracterização bacteriológica no início e no fim dos experimentos para o tratamento que recebeu esterco bovino.....	92
Tabela 15 -	Caracterização física e química da água utilizada para irrigação.....	93
Tabela 16 -	Caracterização bacteriológica no início e no fim dos experimentos para os tratamentos que receberam lodo seco.....	94
Tabela 17 -	Caracterização bacteriológica no início e no fim dos experimentos para os tratamentos que receberam lodo calado.....	94
Tabela 18 -	Teores de metais pesados no solo, lodo seco e lodo calado utilizados nos experimentos.....	96
Tabela 19 -	Valores médios das variáveis físicas e químicas determinadas na água de irrigação, no tratamento testemunha e no líquido percolado proveniente dos tratamentos que receberam lodo calado e lodo seco.....	97
Tabela 20 -	Variações ocorridas nas variáveis físicas e químicas no líquido percolado proveniente dos tratamentos que receberam lodo calado e lodo seco.....	98
Tabela 21 -	Valores médios referentes à qualidade tecnológica da fibra do algodão BRS-verde.....	121

LISTA DE ABREVIACOES

APHA	American Public Health Association
Ca	Cálcio
CaO	xido de Cálcio
CC	Capacidade de Campo
C.E.	Condutividade Elétrica
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CF	Coliformes Fecais
CT	Coliformes Totais
CETESB	Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CETREL	Empresa de Proteo Ambiental
C/N	Relao Carbono/Nitrogênio
DAE	Dias Após Emergência
E.F.	Estreptococos Fecais
E.C.	<i>Escherichia coli</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estao de Tratamento de Esgotos
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
K ₂ O	xido de Potássio
Mg	Magnésio
MgO	xido de Magnésio
M.O.	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
NMP/100g	Número mais provável por 100g de peso mido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
P ₂ O ₅	xido de Fósforo
PMP	Ponto de Murcha Permanente
PROSAB	Programa de Saneamento Básico
PS	Peso Seco
S	Enxofre
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
ST	Sólidos Totais
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UFC/100mL	Unidade formadora de colnias por 100mL
USEPA	Agência de Proteo Ambiental dos Estados Unidos

RESUMO

Avaliou-se a influência do lodo de esgoto, proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, sobre o crescimento e desenvolvimento das culturas do algodão herbáceo colorido BRS verde e do milho híbrido AG 1051. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação da EMBRAPA-Algodão, Campina Grande, Paraíba. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial [(5x2)+3], representado por cinco dosagens (70, 140, 210, 280 e 350kgN/ha) e duas consistências de lodo (seco e pastoso/calado), mais três testemunhas: absoluta (solo), adubação mineral (nitrogênio, fósforo e potássio) e adubação orgânica (esterco bovino), com quatro repetições. A unidade experimental foi representada por vasos plásticos com capacidade de 21L, totalizando treze tratamentos e cinquenta e dois vasos. A calagem foi realizada a 50% do peso seco do lodo (sólidos totais) e a secagem foi ao ar, em casa de vegetação, durante 20 dias a uma temperatura de 26-38°C. O esterco bovino foi incorporado na dosagem de 20t/ha. Foram utilizados os seguintes adubos minerais: sulfato de amônio (20% de N), superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O). No primeiro experimento (algodão colorido BRS verde) foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta, diâmetro caulinar, fitomassa (aérea e radicular), número e peso de capulho, rendimento (pluma + sementes e em pluma), peso de cem sementes, comprimento de raiz, porcentagem de fibra e as qualidades tecnológicas da fibra. O segundo experimento foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito residual do lodo sobre o desenvolvimento inicial de plantas de milho híbrido AG 1051, sendo determinadas as seguintes variáveis: altura de planta, diâmetro caulinar, área foliar (por folha e por planta), fitomassa (aérea e radicular) e comprimento de raiz. Decorridos 55 dias de cultivo, o experimento foi encerrado e realizada análise de diagnose foliar (teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) e de solo (pH, teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio e alumínio), nos diferentes tratamentos. Os materiais constituídos por solo, lodo, esterco e líquido percolado, foram submetidos à caracterização física, química, microbiológica e parasitológica. A calagem promoveu a remoção de 100% dos microrganismos indicadores de contaminação fecal (*Escherichia coli* e *Streptococcus fecalis*), enquanto que para a secagem, os resultados foram de 99,7% de Coliformes totais, 98,9% de Coliformes fecais, 82,4% de *Escherichia coli* e 92,5% de *Streptococcus fecalis*. Quanto ao teor de metais pesados determinados nas amostras de lodo, estes ficaram muito aquém do máximo permissível para uso agrícola do lodo (USEPA, 1992), permitindo, portanto, a sua utilização na agricultura. O líquido percolado foi classificado como de alta salinidade, apresentando aumento dos íons cloreto e sódio, o que poderá elevar os riscos de salinização do solo e à provável deterioração das águas subterrâneas. Para a cultura do algodão, houve resposta significativa da interação consistência x dose nas variáveis: número de capulho por planta, rendimento (pluma + semente e em pluma) e fitomassa aérea. A incorporação do lodo seco ao solo, em cada dose estudada, proporcionou aumento das variáveis supra citadas. Quanto às doses de lodo seco, obteve-se produção máxima de 12 capulhos/planta (243kgN/ha), rendimento (pluma + semente) de 47g/planta (300kgN/ha), rendimento em pluma de 12g/planta (231,5kgN/ha) e fitomassa aérea de 108g (316kgN/ha). Em relação ao contraste fatorial versus testemunha, verifica-se superioridade do fatorial em cada testemunha analisada, para essas variáveis. Quanto às testemunhas, as plantas cultivadas com esterco e adubo mineral, de maneira geral, superaram àquelas cultivadas apenas com o solo (testemunha absoluta) em todas as variáveis estudadas. Houve efeito positivo do lodo seco no crescimento (altura e diâmetro) e na fitomassa radicular do algodoeiro. Com relação à qualidade tecnológica da fibra, o aumento das doses de lodo seco promoveu redução de: uniformidade de comprimento, resistência, alongamento, índice de fiabilidade; e aumento do índice de fibras curtas. Por outro lado, constatou-se efeito residual do lodo seco nas plantas de milho, disponibilizando um maior teor de nutrientes às suas folhas, além de proporcionar um maior crescimento (altura e diâmetro), aumento da área foliar por folha e por planta e da fitomassa (aérea e radicular), principalmente a partir de 210kgN/ha de lodo seco. Quanto às variáveis determinadas no solo procedente dos diversos tratamentos, constatou-se para a maioria delas, superioridade dos tratamentos que receberam lodo seco. Com base na determinação do potássio nas folhas de milho, o maior teor ocorreu nos tratamentos que receberam o lodo pastoso, nas doses de 210 e 280kgN/ha; por outro lado o aumento das doses de lodo, contribuiu para reduzir o teor deste macronutriente no solo. Com referência ao contraste fatorial versus testemunha, em geral o fatorial se destacou em todas as variáveis, exceto para o potássio no solo, onde as plantas cultivadas em solo (testemunha absoluta), com adubação mineral ou orgânica se destacaram do fatorial. A utilização agrícola do lodo de esgoto é viável, desde que seja realizado um monitoramento das suas condições sanitárias, considerando a viabilidade dos ovos de helmintos e a presença de coliformes totais e fecais no solo, objetivando satisfazer alguns pré-requisitos que tornem seu uso seguro para os seres humanos, animais e o ambiente.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, secagem ao ar, calagem, algodão colorido.

ABSTRACT

The research aimed the evaluation of UASB sludge use on the growth and development of the green herbaceous cotton BRS and hybrid corn AG 1051. The experiments were conducted in EMBRAPA-Algodão, (Campina Grande, Paraíba-Brasil). The experiment was conducted in randomized blocks design, with the treatments distributed in factorial scheme [(5x2)+3], represented by five sludge concentrations (70, 140, 210, 280 and 350kgN/ha), two sludge consistencies (dry and lime treated) and three controls (absolute - soil; mineral fertilizer - NPK; and organic fertilizer - cow manure), with four repetitions. The experimental unit was represented by 21L plastic buckets, totalizing thirteen treatments and fifty two buckets. The lime treatment was accomplished at 50% sludge dry weight (total solids) while sludge air drying was conducted in green house during 20 days at 26-38°C. Cow manure was incorporated to the soil at 20t/ha dosage. The mineral fertilizers used were: ammonium sulphate (20% of N), triple super-phosphate (45% of P₂O₃) and potassium chloride (60% of K₂O). In the first experiment (green cotton BRS), plant height and diameter, plant biomass (aerial and root), number and weight of boll, total yield and seeds yield, weigh of hundred seeds, root length, fibre percentage and technological qualities of the fibre were evaluated. The second experiment was carried out to evaluate the sludge residual effect on the hybrid corn AG 1051 with initial monitoring of the variables: plant height and diameter, leave total area, plant biomass (aerial and root) and root length. After 55 days of cultivation, the experiment was finish and diagnosis analysis of leaf (nitrogen, phosphorous, potassium, calcium and magnesium content) and soil (pH, organic matter, nitrogen, phosphorous, potassium, calcium, magnesium, sodium and aluminum) was made for the different treatments. Soil, sludge, cow manure and drained liquid were submitted to physical, chemical, microbiological and parasitological characterization. Lime treated sludge removed 100% of faecal indicators (*Escherichia coli* and faecal streptococci), while drying only removed 99,7% of total coliforms, 98,9% of faecal coliforms, 82,4% of *Escherichia coli* and 92,5% of faecal streptococci. The heavy metals concentrations in the sludge samples were below the permissible maximum values for agricultural use (USEPA, 1992), allowing its use. The drainage liquid was classified as highly saline particularity due to the presence of sodium and chloride ions, increasing the risks of soil salinization and deterioration of underground waters. For the cotton crop there was significant response of the interaction consistency x sludge doses for variables: boll numbers per plant, total yield and seed yield and aerial biomass. The incorporation of dry sludge to the soil, for each dose studied, provided an increase on the above mentioned variables. The maximum production for dry sludge was: 12 boll/plant (243kgN/ha), total yield of 47g/plant (300kgN/ha), seed yield of 12g/plant (231,5kgN/ha) and aerial biomass of 108g (316kgN/ha). When the contrast factorial versus controls was analysed for these variables the superiority of the factorial was found for each analyzed controls. Among the controls, the plants cultivated with cow manure and mineral fertilizer, in a general, overcame the those cultivated in soil (absolute control) in all variables studied. There was a positive effect of dry sludge on cotton growth (height and diameter) and root biomass. The increase of dry sludge doses promoted reduction of some technological qualities: length uniformity, resistance, lengthening, fiabilidade index and increased the index of short fibres. On the other hand, residual effect of dry sludge was observed on corn plants, with a larger concentrations of nutrients to the leaves, and providing a better growth (height and diameter), increasing leaf area (per leaf and plant) and biomass (aerial and root), mainly after 210kgN/ha of dry sludge. Some soil proprieties were better in treatments which received dry sludge. Concerning the potassium determination in the corn leaves, the highest concentration occurred in treatments which received the limed treated sludge (210 and 280kgN/ha). On the other hand the increase of sludge doses, contributed to reduce the concentration of this macronutrient in the soil. The results of the contrast factorial versus controls, the factorial stood out in all variables, except for potassium in the soil, where plants cultivated in soil (absolute control), with mineral or organic fertilizer stood out of the factorial. The agricultural use of the sludge is viable, safe for humans, animals and environment, since requirements of sanitary monitoring are accomplished, particularity to helminth eggs viability and total and faecal coliforms presence in the soil.

Key words: sewage sludge, air dry, lime treated, green coloured cotton.

1. INTRODUÇÃO

A consciência ecológica que vem crescendo dia a dia não mais permite que os resíduos urbanos, sólidos ou líquidos, sejam lançados diretamente ao meio ambiente sem prévio tratamento. O lixo urbano deve passar por uma coleta seletiva para que se possa proceder à reciclagem dos elementos nele contidos, seguindo-se o reaproveitamento dos produtos minerais e a compostagem do material orgânico. As águas servidas devem ser tratadas de modo a remover sua carga de organismos patogênicos e a parte possível de seu material orgânico, somente então sendo devolvidas à natureza. Do tratamento do lixo sólido urbano e das águas servidas resultam dois novos resíduos, o composto e o lodo de esgoto, com potencial para uso agrícola, mas ainda contendo uma carga poluidora, cujo destino constitui grande desafio para o homem (Silva, 2001).

O conhecimento de que o tratamento das águas residuárias é de vital importância para a saúde pública e para a conservação dos mananciais, ocasionou grande desenvolvimento das tecnologias de tratamento, principalmente nos países desenvolvidos. A perspectiva é que a coleta e o tratamento de esgotos sejam uma nova prioridade no saneamento, principalmente com o objetivo de atender aos requisitos de proteção aos mananciais e à saúde pública. Qualquer que seja o tipo de tratamento utilizado para o esgoto, haverá geração de um subproduto denominado lodo de esgoto, que é de disposição final problemática no processo operacional das estações de tratamento de efluentes. A busca de alternativas viáveis para a disposição final do lodo de esgoto enquadra-se na preocupação mundial definida pela Agenda 21, referente à gestão adequada de resíduos, baseada nos seguintes princípios: para todos os resíduos devem ser buscados os meios de minimização da produção, maximização do reuso e da reciclagem e a promoção da disposição e tratamento ambientalmente adequados (Von Sperling & Gonçalves, 2001).

Das diversas alternativas para a adequada disposição do lodo de esgoto produzido, a reciclagem agrícola é a mais promissora, tanto pela adequação sanitária e ambiental quanto pela viabilidade econômica, desde que o resíduo atenda padrões mínimos de qualidade, pois transforma um rejeito em um importante insumo agrícola. Para tanto, necessita da definição de políticas que devem ser baseadas em cuidadosos estudos que definam critérios agrônômicos, ambientais, sanitários e sócio-econômicos, de modo a garantir sua utilização segura (SANEPAR, 1999; Andreoli et al. 2000a).

No âmbito agrônômico, o lodo de esgoto aplicado na agricultura é uma fonte de matéria orgânica e nutrientes que beneficia diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com reflexos na produtividade. Com relação ao critério ambiental, os

principais riscos relacionados ao seu uso na agricultura são representados pelo teor de metais pesados e pelo risco de poluição das águas causado pela matéria orgânica e pelo nitrogênio existentes no lodo. No que concerne ao caráter sanitário, a quantidade e o tipo de microrganismos patogênicos presentes no esgoto estão relacionados com o tipo de urbanização, a densidade populacional, os hábitos sanitários, as condições ambientais, a estação do ano e o perfil de saúde da comunidade que gera o esgoto. O uso deste lodo na agricultura deve considerar alternativas de desinfecção, de forma a reduzir a quantidade desses agentes patogênicos e correlacionar restrições de uso segundo a qualidade alcançada, visando à utilização segura do produto (Deschamps & Favaretto, 1999). Com relação aos fatores econômicos, destaca-se a necessidade de se buscar a minimização dos custos do produto final e a maximização do retorno financeiro do investimento. No âmbito social, estão os benefícios potenciais para a comunidade, por exemplo: reduzir o custo do tratamento cobrado da comunidade, aumentar a produção agrícola e ampliar as oportunidades recreativas (Outwater, 1994; Andreoli et al., 2000a).

As características físico-químicas do lodo de esgoto o tornam um excelente condicionador do solo, pois estabiliza a estrutura do solo aumentando a capacidade de retenção de água e de nutrientes minerais, podendo auxiliar na melhoria das práticas agrícolas atualmente em uso em nosso país. Nesta ótica, passa a ser entendido como bio sólido, ou seja, é o lodo resultante do tratamento biológico dos esgotos condicionado de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na utilização agrícola (Ferreira et al. 1999).

O uso agrícola constitui uma das formas mais utilizadas para a disposição final de bio sólidos; cerca de 25% de todo o bio sólido produzido nos Estados Unidos são utilizados na agricultura; na Europa e no Canadá, a utilização é de aproximadamente 37%. Pela sua composição química, o bio sólido se apresenta como um possível fertilizante para o uso agrícola, uma vez que é composto por cerca de 40% de matéria orgânica e macronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio (Melo et al. 2001).

Na literatura (nacional e internacional), o único relato até o momento da utilização do lodo de esgoto para a cultura do algodão é o de Pedroza (2002), mas, sabendo-se de sua importância histórica, social e econômica para a Região Nordeste e, também, por ser uma cultura industrial, foi que se optou escolhê-la. Na década de 40, Campina Grande, PB foi o 2º pólo comercial do mundo de algodão, atrás somente de Liverpool, na Inglaterra. O cultivo foi dizimado pela praga do bicudo. Por intermédio da tecnologia agrícola, a produção de plumas está sendo retomada e, com uma novidade, o surgimento dos algodões coloridos. pelo fato da EMBRAPA local dominar a tecnologia do algodão colorido, a intenção é tornar o estado um celeiro de plantação deste tipo de algodão (EMBRAPA/Algodão, 2001).

2. OBJETIVO GERAL

Analisar a influência do lodo de esgoto, proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, sobre a fertilidade do solo, o crescimento e desenvolvimento da planta do algodão colorido BRS verde, visando à reciclagem agrícola, bem como o efeito residual na planta do milho.

2.1 Objetivos Específicos

1) Analisar e comparar a eficiência de dois métodos de desinfecção do lodo: calagem e secagem ao ar, na inviabilização dos microrganismos indicadores de contaminação fecal e patogênicos, sobre a cultura do algodão.

2) Analisar as características físicas, químicas e biológicas do lodo antes e após os processos de desinfecção.

3) Comparar o comportamento da planta do algodão, em seu ciclo fenológico, com e sem a incorporação do lodo ao solo.

4) Comparar o lodo de esgoto com o esterco bovino e os nutrientes minerais.

5) Estudar os efeitos modificadores do lodo sobre as características químicas e biológicas do solo.

6) Caracterizar as alterações físicas e químicas do líquido percolado.

7) Avaliar o efeito residual dos tratamentos estudados na cultura do milho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto é um resíduo que se obtém após o tratamento dos esgotos com a finalidade de torná-los menos poluídos e permitir seu retorno ao ambiente sem que sejam fontes de poluição. Quando devidamente higienizado, estabilizado e seco, recebe o nome de biossólido e pode ser reutilizado de modo benéfico. Ainda que o lodo possa, na maior parte das etapas do seu manuseio, ser constituído de mais de 95% de água, apenas por convenção é designado por fase sólida, visando distinguí-lo do fluxo líquido sendo tratado (fase líquida) (Melo et al. 2002).

Dependendo da natureza e origem dos sólidos, são classificados em (Aisse et al., 1999; Ferreira et al., 1999; Jordão & Pessoa, 1995):

* **lodo bruto ou primário** - gerado a partir da sedimentação primária de material particulado do afluente. Possui coloração acinzentada, é pegajoso, de odor ofensivo e facilmente fermentável.

* **lodo secundário, digerido ou biológico** - gerado no reator biológico do sistema de tratamento, constituindo-se em uma mistura de sólidos não-biodegradáveis do afluente e massa bacteriana que cresce no reator, proveniente da degradação biológica da matéria orgânica presente nos esgotos sanitários.

A matéria orgânica volátil do lodo é sólida ou líquida. Se a água é totalmente removida, a matéria orgânica volátil remanescente e a matéria inorgânica (cinza) são conhecidas como sólidos secos. A matéria orgânica volátil pode ser caracterizada por seu valor calorífico; a inorgânica varia, entretanto, e de maneira geral, pode-se considerar os seguintes valores: lodo primário, 30-45% de sólidos secos e lodo secundário, 20-35% de sólidos secos.

Dependendo do ambiente no reator, o lodo secundário pode ser de natureza aeróbia ou anaeróbia, e possui cor marrom escura.

A digestão aeróbia é um processo de oxidação biológica dos sólidos biodegradáveis contidos nos esgotos, na presença de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida, favorecendo, desta maneira, a atividade das bactérias aeróbias na formação do lodo digerido, do gás carbônico e da água. Objetiva principalmente a redução dos sólidos biodegradáveis e odores, bem como deixa o lodo em condições favoráveis à desidratação. A eficiência deste processo é igual ou maior do que a digestão anaeróbia, no que concerne à redução dos

resíduos voláteis contidos no lodo. A digestão aeróbia apresenta ainda outras vantagens: mais viável economicamente no que concerne à implantação; redução de odores e microrganismos patogênicos. As desvantagens: o maior custo operacional, não permitindo o aproveitamento do gás e restringe-se a estações de tratamento de esgotos de pequeno porte. A digestão anaeróbia é um processo complexo, onde diversos grupos de microrganismos anaeróbios e facultativos catabolizam e anabolizam simultaneamente a matéria orgânica. Normalmente, os sólidos em suspensão, fixos e voláteis, são removidos da massa líquida afluenta à estação de tratamento de esgotos e encaminhados para serem processados em digestores, reatores biológicos ou biodigestores, onde são decompostos anaerobicamente, caracterizando o processo de digestão anaeróbia. Apresenta como objetivos principais a redução dos agentes patogênicos, estabilização da matéria orgânica, redução do volume do lodo e deixa o lodo com características favoráveis à redução de umidade, através dos processos de separação sólido-líquido; também reduz o problema de odor e a presença de vetores (Ferreira et al. 1999).

Destaca-se que o lodo secundário aeróbio tem natureza bastante distinta em relação ao lodo secundário anaeróbio. No lodo aeróbio, a fração de massa bacteriana é elevada (dependendo da idade de lodo, 50% a 90% da massa bacteriana), enquanto no lodo anaeróbio esta fração está na faixa de 2% a 20%. Na presença de oxigênio, o lodo anaeróbio é metabolizado pelo lodo aeróbio; em ambiente anaeróbio, o lodo aeróbio torna-se substrato para o lodo anaeróbio (Chernicharo et al. 1999).

Existem controvérsias quanto à facilidade de desaguamento do lodo. Segundo Metcalf & Eddy (1991), o lodo digerido aerobicamente é mais difícil de desaguar que o estabilizado anaerobicamente; enquanto Qasim (1999) cita que o lodo digerido aerobicamente tem a vantagem de ser mais facilmente desaguado.

Os autores Miki et al. (2002) e Tsutiya (2002) reportam que o lodo de esgoto é constituído por água e sólido granuloso, flocoso e coloidal, e que a água presente nos lodos pode ser dividida em:

* **água livre** – refere-se à parcela de água que fica separada quando os flocos de lodo, de maior peso específico, sofrem sedimentação ou adensamento por força de gravidade, após determinado tempo de repouso. A quantidade de água removida deste modo depende da fragilidade estrutural dos flocos e de suas características de sedimentação;

* **água inter flocos** – refere-se à parcela de água que permanece presa entre os flocos após o término do período de sedimentação ou adensamento por gravidade; é facilmente removida pela aplicação de pressão ou vácuo através dos flocos. Um processo convencional

de desidratação remove a maioria desta água por conta de um entupimento pouco significativo do meio filtrante e da torta de lodo;

* **água adsorvida nos flocos** – refere-se à parcela de água adsorvida sobre a superfície do floco e que, devido a tensão superficial e rigidez estrutural dos flocos, só pode ser retirada quando é aplicada uma pressão adequada ou vácuo; esta retirada é feita sem a ruptura dos flocos de lodo. No caso de ocorrer fragmentação dos flocos, a parcela de água adsorvida não é identificada em quantidades significativas;

* **água inter partículas** – refere-se à parcela de água presa dentro dessas partículas; pode ser retirada através da ruptura dos flocos, com a aplicação de elevada pressão ou vácuo às partículas fragmentadas;

* **água adsorvida na partícula** – refere-se à parcela de água adsorvida sobre a superfície da partícula por tensão superficial ou sucção capilar, sendo difícil de retirar mecanicamente;

* **água de partícula** – refere-se à parcela de água íntima e quimicamente ligada às partículas inorgânicas; só pode ser retirada por combustão.

Os lodos podem exibir três características indesejáveis, cuja correção é o objetivo do tratamento do lodo (Aisse et al. 1999):

* **instabilidade biológica** – no caso de lodo primário e no lodo aeróbio, há uma grande fração de material orgânico biodegradável. O método mais comum para reduzir o teor de material biodegradável é por meio da aplicação da digestão anaeróbia;

* **péssima qualidade higiênica** – especialmente no caso de esgoto sanitário, há uma grande variedade de microrganismos patogênicos que constituem uma ameaça à saúde pública;

* **grande volume** – a concentração de sólidos nos lodos é relativamente baixa, de modo que seu volume é considerável, sendo necessário aplicar um processo de separação de fases para reduzir o teor de água.

Geralmente, a fase mais onerosa do tratamento de esgotos é o processamento e a disposição final do lodo, que pode alcançar 60% do orçamento operacional para o controle da poluição das águas (Webber & Shames, 1984). Estas razões indicam que a questão da disposição final do lodo de esgoto, que já é um problema de grandes proporções no país, tem uma clara tendência ao agravamento, pois a produção deste é diretamente proporcional ao percentual de tratamento. A busca de alternativas ambientalmente adequadas e economicamente viáveis devem necessariamente ser anterior à própria produção do lodo, pois a ausência de definição sobre o destino final deste material questiona a própria existência e,

consequentemente, a operação dos sistemas de tratamento (SANEPAR, 1999; Ferreira et al. 1999).

Os lodos são, em geral, ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes, o que possibilita o seu uso na agricultura como adubos, desde que devidamente avaliados e equacionados os riscos potenciais definidos pelos elementos traço, agentes patogênicos e pelo nível de estabilização do material, que pode ocasionar problemas de odor e a consequente atração de vetores (SANEPAR, 1999).

De acordo com a tendência do crescimento dos índices de coleta e tratamento de esgotos, haverá um crescimento proporcional da produção de lodo. Para os sistemas aerados, por exemplo, a média de produção de lodo varia de 17 a 27t/dia de lodo pastoso (20% de sólidos) para cada 100.000 habitantes. O esgoto coletado no Brasil, se devidamente tratado, produziria 25.000 a 35.000m³ de lodo primário (com 3 a 7% de sólidos) e de 150.000 a 200.000m³ de lodo secundário (com 0,5 a 20% de sólidos) por dia. Este problema será ainda mais agravado com a perspectiva de inclusão de mais de 70 milhões de habitantes urbanos nas redes de coleta nos próximos 15 anos (Ferreira et al. 1999).

3.1.1 Processos de Desinfecção

Os lodos de esgotos apresentam algumas características indesejáveis que dificultam sua manipulação e processamento. São elas: odores desagradáveis, presença de microorganismos patogênicos, elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral e dificuldade de desidratação. Essas características são mais marcantes à medida que o lodo está mais “fresco”, ou seja, com características mais próximas ao do material de origem. À medida que o processo de biodegradação avança essas características indesejáveis são atenuadas até o ponto em que são toleráveis e o lodo é considerado estabilizado. Portanto, uma definição possível para o lodo estabilizado: “é a transformação parcial do lodo por agentes químicos, físicos e biológicos, de modo que sua maior parte putrescível é destruída ou tornada inativa, o que torna o lodo um produto inócuo”. Resumindo, pode-se dizer que o lodo estável é aquele que minimiza os riscos para a saúde pública e o meio ambiente, portanto a estabilização do lodo está diretamente ligada ao seu teor de microorganismos patogênicos e grau de putrescibilidade (Ferreira et al. 1999)

Os processos de estabilização são eficientes na redução do odor e diminuição dos microorganismos patogênicos, porém a concentração destes ainda é grande e no caso de se fazer reciclagem agrícola sem riscos é necessário levar adiante a estabilização do lodo no processo que será convencionado ser de desinfecção do lodo, que pode ser entendido como

uma extensão da estabilização objetivando obter um lodo sanitariamente seguro (Andreoli et al. 1999).

Os principais processos de desinfecção, segundo a SANEPAR (1997) e Tsutiya (2002), são:

⇒ *Compostagem*

É um processo de degradação aeróbia e/ou anaeróbia, no qual uma mistura inicial de resíduos (matéria orgânica) se decompõe através da ação de vários grupos de microrganismos, eliminando os agentes patogênicos através da elevação da temperatura. Produz gás carbônico e vapor d'água, além de um produto orgânico estável rico em compostos húmicos. O lodo deve ser misturado a um resíduo estruturante rico em carbono. O resíduo sendo rico em carbono e pobre em nitrogênio equilibra a relação C/N da mistura, que deve se situar entre 20 e 30 para que o processo de compostagem se desenvolva em boas condições. Sendo um processo biológico, o sucesso depende do controle de alguns parâmetros físico-químicos básicos: aeração, relação carbono/nitrogênio, umidade, potencial hidrogeniônico, granulometria e estrutura. Durante o processo, o aparecimento de microrganismos aeróbios restritos e facultativos é ativo; os aeróbios que utilizam oxigênio alimentam-se em função da matéria orgânica e desenvolvem seus tecidos celulares através do nitrogênio, fósforo, algum carbono e outros nutrientes essenciais. A maior parte do carbono serve como fonte de energia aos microrganismos e é liberada (através da respiração) sob a forma de dióxido de carbono. O carbono orgânico pode ter funções de fonte de energia e carbono celular, logo é sempre requerido mais carbono que nitrogênio.

A compostagem do lodo de esgoto abre perspectivas para o processamento integrado de outros resíduos urbanos como resíduos de podas de árvores triturados, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e restos de hortaliças, que participam do processo como fonte de carbono e material estruturante e o lodo como fonte de nitrogênio, fósforo, nutrientes e umidade. As propriedades físicas do lodo de esgoto, que é o substrato a ser fermentado durante a compostagem, são fundamentais para o êxito do processo; o lodo após a desidratação, deve se apresentar grumoso e com umidade nunca ultrapassando a 70% (Andreoli et al. 1999; Carvalho, 2002).

Reis et al. (2000) realizaram um estudo sobre a compostagem de resíduos orgânicos provenientes da Companhia Estadual de Abastecimento Sociedade Anônima (CEASA) e resíduos de podas urbanas provenientes do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre (DMLU), e do lodo de uma ETE, codispostos em proporções diferentes em

cinco leiras de compostagem. Concluíram que a codisposição de resíduos em compostagem pode ser vantajosa para aumentar a disponibilização de nutrientes; a bioestabilização mostrou-se com melhor desempenho nas leiras que continham resíduos da CEASA e lodo, principalmente a que continha inicialmente 50% de lodo e 25% de resíduos da CEASA. Os micronutrientes zinco, chumbo e cobre, foram disponibilizados principalmente pela incorporação de lodo, mas com teores muito abaixo de valores tóxicos às plantas

⇒ *Calagem*

Desde o final do século passado, sabe-se que a adição de produtos químicos alcalinos tem efeito estabilizante no lodo de esgoto. A cal é um dos produtos alcalinos mais baratos e usados no saneamento – é usada para elevar o pH nos digestores, remover fósforo nos tratamentos avançados de efluentes e estabilizar quimicamente o lodo.

Pode-se adicionar a cal virgem (óxido de cálcio - CaO) ou a cal hidratada [Ca(OH)₂] ao lodo na proporção de 50% em relação ao peso seco de lodo (proporção sanitariamente segura), elevando seu pH a níveis ligeiramente superiores a 12, o que inativa ou destrói a maior parte dos patógenos presentes no lodo. A mistura pode ser manual, com o uso de betoneira ou com misturador-moedor. Além destes valores de pH após a adição da cal, o lodo deve ser colocado em recipiente fechado e ter um período de 30 a 120 dias de contato com a cal para que a redução de patógenos alcance um patamar ótimo. Três fatores intervêm no processo: inicialmente, a elevação da temperatura e do pH da massa resultante (mistura lodo e cal) e, finalmente, a formação de amônia a partir do nitrogênio presente no lodo, em condições de temperatura e potencial hidrogeniônico elevados. O contato da cal com a água contida no lodo resulta em uma reação exotérmica, promovendo a elevação da temperatura, até a estabilização da mistura. Evidentemente, este efeito é dependente da qualidade e da proporção da cal utilizada em relação à quantidade de lodo. De acordo com os experimentos realizados no PROSAB/SANEPAR (PROSAB, 1999), o lodo deve ter um limite mínimo de umidade (% de água) próximo a 70% para promover uma boa reação com a cal, teores de umidades menores não apresentam quantidade de água suficiente para que a mistura atinja temperaturas muito altas e, portanto, reduzem o efeito desinfetante do processo.

Andraus et al. (1998) realizaram trabalho sobre a eficiência da calagem a 50%, na remoção de patógenos no lodo de esgoto. Os resultados obtidos mostraram que a calagem foi 100% eficiente na remoção de *Salmonella spp*, independente do tempo de disposição no pátio, porém o grupo estreptococos fecais mostrou-se resistente.

Passamani et al. (2000a) estudaram diferentes técnicas de higienização de lodo proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, objetivando sua reciclagem agrícola. De maneira geral, pode-se dizer que na higienização com cal, virgem e hidratada, a combinação dos parâmetros temperatura e pH se mostraram mais eficientes na eliminação das bactérias do grupo coliformes fecais e na inviabilização de 100% dos ovos de helmintos nas doses analisadas. A pasteurização à temperatura de 70°C durante trinta minutos foi responsável pela eliminação em 100% da viabilidade dos ovos de helmintos e dos coliformes fecais. Ressaltam que, uma das desvantagens da calagem, quando comparada com outros processos, é que não há redução na massa do lodo ao final do tratamento, pelo contrário, há um incremento da massa com a adição da cal.

⇒ *Secagem*

Reduz os microrganismos patogênicos pela exposição aos raios solares ou ao calor, no caso da desidratação pelo uso de calor. O sistema de secagem deve ser selecionado em função da alternativa de disposição final. Os processos podem ser naturais (leitos de secagem, lagoas de lodo e disposição no solo) ou mecânicos (centrífugas, prensa desaguadora contínua, filtros prensa de placas e de esteiras, filtros a vácuo e secagem térmica). Na secagem térmica, o lodo é aquecido para promover a evaporação da água sem destruição da matéria orgânica, desta forma, os sólidos totais presentes no lodo são mantidos e apenas a água é removida. Consequentemente, o gás exaurido pelo processo é basicamente formado por vapor de água. O processo também tem a capacidade de eliminar organismos patogênicos, o que o torna um processo muito interessante quando o destino final é a reciclagem agrícola. A secagem natural depende basicamente das condições do clima, visto que o lodo é exposto e, graças à ação dos raios solares e da evaporação, ocorre a secagem (Gonçalves et al. 2001).

Andreoli et al. (2000b) realizaram um estudo avaliando a influência da temperatura e do tempo na secagem de lodo, em escala real, e na inviabilização dos ovos de helmintos. Os experimentos foram instalados na estação de tratamento de esgotos em Guaraituba, situada no município de Colombo, PR, e foram conduzidos através do uso de estufa plástica sobre leitos de secagem, revolvimento da massa de lodo e injeção de calor a partir dos gases gerados no processo de tratamento de esgoto de um reator anaeróbio de lodo fluidizado. Os tratamentos utilizados foram: leito de secagem com e sem estufa plástica; leito de secagem com estufa plástica e biogás; leito de secagem com e sem revolvimento; leito de secagem com filme plástico – solarização, todos com e sem revolvimento. A importância da solarização não se relaciona somente com o processo de secagem, mas com a eficiência sobre a higienização

através da redução da viabilidade de ovos de helmintos. Neste contexto pode-se dizer que os tratamentos que utilizaram a solarização mostraram-se mais eficientes na 1ª descarga (após vinte e oito dias de experimento - mês novembro), com 97,5 e 89,3%, respectivamente; na 2ª descarga (dezembro) após as adaptações nos tratamentos que utilizaram biogás, estes foram os mais eficientes, tendo uma redução de 89,8 e 91,9%, respectivamente e na 3ª descarga (janeiro) nos tratamentos que utilizaram leito de secagem com estufa plástica e biogás com revolvimento, a redução foi de 84,5%; enquanto que os com leito de secagem com filme plásticos-solarização, com e sem revolvimento, obtiveram reduções de 84,0 e 86,5%, respectivamente. Ao longo das descargas, a tendência verificada mostra que os resultados foram melhores nos tratamentos com estufa, independente da utilização ou não do gás, porém, mesmo apresentando um bom índice redutor de ovos de helmintos, nenhum dos tratamentos foi totalmente eficiente na inviabilização dos mesmos, de acordo com as normas da Agência de Proteção Ambiental (USEPA) e da normatização paranaense.

Dando prosseguimento ao estudo, Andreoli et al. (2000c) avaliaram algumas características do lodo proveniente da ETE Guaraituba, situada no município de Colombo, PR, após secagem em condições artificiais (estufa), utilizando diferentes temperaturas (50, 60, 70 e 80°C), objetivando seu uso agrícola. Concluíram que as temperaturas de 50, 60 e 80°C se mostraram eficientes na redução de ovos de helmintos em níveis aceitáveis nos tempos de 48 horas, 6 horas e cinco minutos, respectivamente, enquanto a temperatura de 70°C (30 minutos), não se mostrou eficiente na redução dos ovos, em nenhum dos tempos analisados. Quando comparado ao lodo calado, o lodo higienizado através do tratamento térmico mantém os teores de nitrogênio mais altos, pois, como não existe uma elevação do pH, não ocorre grande transformação de nitrato em amônia e sua conseqüente volatilização, mostrando-se com boas características agronômicas quando se avalia seus teores de nitrogênio total.

⇒ ***Irradiação***

A irradiação apresenta grande eficiência na remoção dos microrganismos patogênicos, porém o preço elevado é fator limitante. Raios gama e beta são duas fontes de energia utilizadas na desinfecção do lodo; os raios gama são fótons de alta energia produzidos por certos elementos radioativos; os raios beta são elétrons acelerados por potencial elétrico de cerca de um milhão de volts. A USEPA recomenda: raios gama, dosagem maior que 1 megarad a 20°C, a partir de isótopos de cobalto 60 ou césio 137; e raios beta, dosagem maior que 1 megarad à temperatura de 20°C (Tsutiya, 2002).

⇒ *Pasteurização*

É a manutenção do lodo à 70°C, durante um período de trinta minutos. É importante mencionar que o tratamento térmico clássico do lodo consiste no aquecimento do lodo líquido a uma temperatura de 180°C durante trinta minutos. As alternativas de secagem térmica apresentam eficiência variável segundo o tempo de exposição e a temperatura obtida, ou seja, para temperaturas menores são requeridos tempos mais longos (Ilhenfeld et al. 1999). É um processo muito utilizado na Europa e pouco nos Estados Unidos.

⇒ *Solarização*

Segundo Tsutiya (2002), a solarização é uma técnica recente que tem mostrado eficácia e simplicidade ao utilizar a luz solar para o controle dos microrganismos patogênicos, utilizando dos efeitos da temperatura e da função bactericida da luz solar, através da cobertura do solo com um filme plástico transparente que produz alterações nas condições físicas, químicas e biológicas do meio, promovendo um efeito estufa. O sucesso desta técnica deve-se principalmente ao aquecimento da terra úmida, atingindo temperaturas letais à maioria dos patógenos do solo; apresenta a vantagem de menor impacto ambiental e não gera resíduo, além de ser simples e de fácil aplicação. Quanto maior a profundidade, menores temperaturas são atingidas; o teor de umidade do solo também é importante para a eficácia do tratamento na medida em que auxilia na condução do calor das camadas superficiais para as mais profundas.

Madera et al. (2002) conduziram um experimento com lodo proveniente de lagoas anaeróbias tratando esgotos domésticos em Valle del Cauca, sudoeste da Colômbia, utilizando dois processos de desinfecção: a calagem (20, 40 e 60% do peso seco) e a secagem ao ar. As amostras foram colocadas em compartimentos reproduzindo as condições de um leito de secagem, à uma profundidade de 15cm e cobertas com filme plástico transparente, onde permaneceram durante um mês. Algumas variáveis físicas, químicas, bacteriológicas e parasitológicas foram monitoradas. O pH, monitorado diariamente, permaneceu inalterado ao longo do mês (11,5 para o lodo calado e 6,9 para o lodo seco). O lodo seco perdeu 69% do seu peso inicial em um dia. Os autores citam que Kuai et al. (2000) também alcançaram resultados semelhantes quando da secagem de lodos; para o lodo calado, a redução obtida foi de 29% (20 e 40%) e 18% (60%), no mesmo período. No que concerne à microbiologia e parasitologia do lodo calado, não foi detectada a presença de coliformes fecais nem ovos de helmintos, enquanto no lodo seco os coliformes fecais foram reduzidos em 4 unidades de log

e os ovos de helmintos em 78%; no final do experimento, foram detectados 6ovos/g de lodo. Os resultados alcançados para o lodo seco foram satisfatórios, porém, no caso de uso agrícola, deve ser submetido a outros tratamentos de desinfecção. No final, os autores concluem citando que nem um dos dois métodos de desinfecção utilizados sozinhos foi eficiente para desinfecção de lodos provenientes de lagoas anaeróbias. Quanto ao lodo calado, nas doses analisadas, mostrou ser eficiente na desinfecção, porém economicamente é inviável para uma aplicação em grande escala, bem como às condições de alcalinidade obtidas com a calagem podem acarretar impactos negativos na qualidade do solo.

Bueno (2001) realizou um trabalho de desinfecção de lodo de esgoto da ETE de Franca, SP, utilizando a energia solar. Para a técnica de solarização, a profundidade 0,05m e o tempo de quinze dias foi o que apresentou melhores resultados, com níveis de remoção de até 100% de ovos e cistos. Comparando as técnicas com e sem revolvimento, a que apresentou melhor resultado foi a sem revolvimento. Pela própria concepção do tratamento, a solarização não permite perda de umidade do meio. Neste caso, é aconselhável a retirada do filme plástico após o período de solarização, de forma que permita a evaporação e, desta maneira, a diminuição da umidade do meio.

3.1.1.1 Classificação

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1992), classifica os processos de higienização do lodo, quanto à capacidade de remoção dos microorganismos patogênicos, em Processos de Avançada Redução de Patógenos e Processos de Redução Significativa de Patógenos.

3.1.1.1.1 Processos de Avançada Redução de Patógenos

* **Compostagem** - utilizando-se o método Within-vessel ou em leiras estáticas aeradas, a temperatura da mistura é mantida à 55°C ou superior, durante treze dias ou mais.

* **Secagem térmica** - o lodo de esgoto é seco, contato direto ou indireto, através de gases aquecidos, desidratando-o à umidade inferior ou igual 10%.

* **Tratamento térmico** - o lodo de esgoto líquido é aquecido à temperatura superior ou igual à 180°C, durante trinta minutos.

* **Digestão aeróbia termofílica** - o lodo de esgoto é agitado, com ar ou oxigênio, para manter as condições aeróbias, por um tempo médio de detenção de dez dias, a uma temperatura entre 55 - 60°C.

* **Irradiação com raios beta e gama** - o lodo de esgoto é irradiado com raios beta (através de um otimizador de dosagens) e isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137, respectivamente, em ambiente climatizado à temperatura de 20°C.

* **Pasteurização** - a temperatura de lodo de esgoto é mantida igual ou superior à 70°C, durante trinta minutos.

O lodo resultante destes processos é denominado Lodo Classe A, possui um perfil sanitário excepcional e pode ser utilizado sem restrições quanto às culturas. Deve ser monitorado pelos parâmetros de ovos de helmintos viáveis, coliformes fecais, *Salmonella spp.*, quando em uso ou estocado, assegurando que não ocorra recrescimento.

3.1.1.1.2 Processos de Significativa Redução de Patógenos

* **Digestão aeróbia** - o lodo de esgoto é agitado, com ar ou oxigênio, para manter as condições aeróbias, por um tempo médio de detenção de quarenta a sessenta dias à temperatura de 20°C e 15°C, respectivamente.

* **Digestão anaeróbia** - é realizada na ausência de oxigênio, com tempo médio de detenção de quinze a sessenta dias, à temperatura de 35-55°C e 20°C, respectivamente.

* **Secagem ao ar** - o lodo de esgoto é seco em pátio de areia, com base pavimentada ou não, durante três meses no mínimo.

* **Compostagem** - utilizando-se os método Within-vessel, de leiras estáticas aeradas ou de Windrow, a temperatura do lodo atinge 40°C ou valor superior, durante cinco dias. A temperatura do composto excede a 55°C por quatro horas ou durante cinco dias.

* **Calagem** - é adicionada cal ao lodo visando elevar o pH da mistura a 12, após duas horas de contato.

O lodo resultante destes processos é denominado Lodo Classe B. Estes processos reduzem a densidade de coliformes fecais até menos que dois milhões por grama de sólidos totais (10^6 /ST), e de *Salmonella* e vírus entéricos a um fator de dez. São utilizados para diferentes culturas com exigências de tempo de carência após sua aplicação, por exemplo:

- quatorze meses, para culturas cujas partes colhidas tenham contato como o lodo;
- vinte meses, para aquelas culturas cujas partes colhidas ficam enterradas no solo;
- trinta dias, para culturas cujas partes colhidas não tocam o solo com o lodo e níveis de pastagens.

- para áreas de aplicação com exposição ao público, diferenciam-se aquelas com alto e baixo potencial de exposição, o tempo de carência vai de um ano a trinta dias, respectivamente.

Na Tabela 1 estão mostrados os valores limite para os microrganismos indicadores de contaminação fecal e microrganismos patogênicos, de acordo com a classe do lodo.

Tabela 1 - Limites para microrganismos indicadores de contaminação fecal e microrganismos patogênicos de acordo com a classe de lodo

Microrganismo	Lodo Classe A	Lodo Classe B
Coliformes fecais	$< 10^3$ /gST	$< 10^6$ /gST em sete amostras por duas semanas
<i>Salmonella</i> spp.	< 3 NMP/4gST	Não especificado
Ovos viáveis helmintos	$< 1/4$ gST	Não especificado

Fonte: USEPA (1992)

Além da qualidade do biossólido e da seleção de áreas aptas para sua aplicação, a segurança da utilização depende ainda de uma série de recomendações de uso e manejo, incluindo as culturas que podem ser utilizadas, a quantidade a ser aplicada e as alternativas de aplicação e incorporação. Os cereais são as culturas mais recomendadas, uma vez que, normalmente, passam por um processo industrial antes de chegarem à mesa do consumidor, ou não são consumidos “in natura”, são destinados à alimentação animal (ração) ou ainda utilizados para melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo (adubação verde). As áreas de reflorestamento apresentam especial interesse, uma vez que os produtos desta atividade não apresentam risco de consumo e podem receber grandes quantidades de biossólidos. Culturas como café, cana de açúcar e stévia, representam outro segmento bastante interessante e que não oferecem riscos aos consumidores de seus subprodutos. A fruticultura representa um mercado de potencial expressivo, devido às pesadas aplicações de matéria orgânica, recomendadas tanto na implantação dos pomares, quanto nas adubações de manutenção anuais. As culturas que oferecem maiores riscos são aquelas cujos produtos consumidos tenham contato direto com o solo (contato primário), entre estas, especial atenção deve ser dada às espécies olerícolas, muitas delas produzidas em contato direto com o solo (alface e repolho), ou mesmo dentro do solo (cenoura, beterraba, cebola e nabo), e são consumidas “in natura”. As pastagens, durante um período mínimo de dois meses após a aplicação de biossólidos, devem ser mantidas sem animais, visando permitir um perfeito crescimento da espécie em sua máxima produção de forragem e impedir o contato dos animais diretamente com os resíduos. Ressalte-se que, caso seja adotado um processo de avançada redução de patogênicos, estas culturas poderão ser fertilizadas com biossólidos sem restrições (Andreoli et al. 2001).

3.2 Considerações Sobre a Utilização do Lodo

A atividade humana é geradora permanente de resíduos e, quanto maior a concentração populacional, maiores os problemas de disposição. Nesse contexto, o crescimento populacional e sua concentração em áreas urbanas têm exigido ações eficazes de saneamento básico, destacando-se o fornecimento de água tratada, a coleta e o tratamento dos esgotos. Qualquer que seja o tratamento do esgoto, geram-se grandes quantidades de lodo, que tem se tornado um problema para as companhias responsáveis pelo tratamento de água e esgotos em todo o mundo, envolvendo um grande número de técnicos, pesquisadores e o poder público pela viabilização do seu destino seguro e adequado, que deve ser encarada com seriedade por todos. A questão que se coloca é a de buscar soluções integradas. As legislações existentes, particularmente nos Estados Unidos, estabeleceram que, para a utilização segura do lodo, este deverá ser submetido a processos de higienização para redução do número de microrganismos patogênicos, particularmente bactérias e ovos de helmintos. Historicamente, há poucas evidências da possibilidade de transmissão de doenças através do uso do biossólido. Existe uma maior probabilidade de risco quando a aplicação está associada ao uso em culturas agrícolas de contato primário e a contaminação de corpos de água (Bonnet et al. 1998).

Ilhenfeld et al. (1999) reportam que a reciclagem agrícola do biossólidos depende de vários fatores que necessariamente devem ser considerados, para garantir que esta disposição final atenda os requisitos agrônômicos, ambientais e sanitários, sem comprometer a sua viabilidade econômica. Inicialmente, deve-se considerar que quando esta alternativa é selecionada, o gestor do saneamento está assumindo uma responsabilidade com o produtor rural e de maneira geral com toda a sociedade, em oferecer um produto de boa qualidade e que traga benefícios à produção agrícola, garantindo a qualidade ambiental das áreas onde for utilizado, dos produtos produzidos e a segurança ao produtor rural. O uso do lodo na agricultura não pode ser entendido simplesmente como uma forma de se “livrar” de um problema urbano. A gestão dos resíduos depende também de um planejamento adequado que considere o contexto agrícola regional e as condições ambientais, em relação às características dos biossólidos produzidos, e controlar adequadamente esta atividade através do monitoramento da alternativa de higienização selecionada, levantamento do panorama agrícola e pedológico local dos solos e das áreas para o recebimento do lodo (não é utilizado nas propriedades rurais em que este procedimento ponha em risco o meio ambiente e a saúde humana e animal), a forma de seleção dos agricultores, os critérios de verificação dos fatores limitantes e de recomendação agrônômica, de transporte do lodo e o gerenciamento de toda estrutura montada. Deve-se ter em mente que a adequada utilização do lodo de esgoto como fertilizante necessita de uma boa orientação técnica ao produtor, visando possibilitar a análise

dos diferentes fatores limitantes, que definirão as doses de biossólidos a serem aplicadas, a complementação mineral necessária, as corretas práticas agronômicas e os cuidados que devem ser observados. A correta aplicação dos elementos nutrientes pode definir a diferença entre uma dose que traga benefícios e outra que possa causar danos ambientais. Os macro e micronutrientes presentes no lodo são essenciais ao desenvolvimento das culturas, entretanto, em níveis exagerados de aplicação podem determinar a redução da fertilidade e a contaminação ambiental. Neste contexto, se o lençol freático estiver muito próximo à superfície do solo, as chances de contaminação ambiental aumentam, visto que o solo é um filtro físico, químico e biológico para o lodo; quanto maior o perfil maior será o contato dos elementos constitutivos do lodo com o solo, e menor a possibilidade de contaminação por lixiviação destes elementos. Quanto mais profundo o lençol freático, melhor, devendo sempre ser observada uma distância mínima de 1,5m da superfície do solo.

A gestão do lodo de esgoto implica em uma harmonização de procedimentos e processos ligando o funcionamento da estação de tratamento de esgotos (ETE) e o processamento e destino final do lodo. Historicamente, os projetistas de ETE's sempre se preocuparam com o destino final do efluente tratado, dispensando pouca ou nenhuma atenção ao lodo gerado. Este tipo de procedimento, não raro, levou à implantação de grandes e eficientes ETE's, que após iniciarem seu funcionamento simplesmente não sabiam o que fazer com o lodo gerado. Atualmente, já existe um consenso de que o projeto em uma ETE deve também conter alternativa de tratamento e destino final do lodo gerado, caso contrário trata-se de um projeto incompleto (Andreoli et al. 1997). As características do lodo são determinantes na definição da alternativa de disposição final, somente podendo ser destinados para a agricultura os materiais que apresentem composição química e perfil sanitário que possibilitem a melhoria das condições do solo e o incremento da produtividade sem expor a segurança do produtor rural, dos consumidores e do ambiente (SANEPAR, 1999).

Os principais riscos associados à utilização agrícola do lodo referem-se a questão dos metais pesados, aspectos sanitários, micropoluentes orgânicos e nitrogênio. Tanto os metais quanto os microrganismos patogênicos como helmintos (ovos), fungos (esporos) e bactérias tendem a co-precipitar com o esgoto e se concentrar no lodo (Ferreira et al. 1999).

A responsabilidade pela fiscalização do gerenciamento e pelo monitoramento da operação de destino do lodo deve ser da empresa geradora do resíduo, enquanto o órgão ambiental deve aprovar o Plano de Distribuição do lodo e proceder ao acompanhamento e fiscalização do processo de monitoramento. No Brasil, o gerenciamento de lodo tem sido negligenciado. Os projetos de ETE's raramente detalham a forma de gerenciamento e disposição final do lodo, justamente a etapa mais complexa e onerosa de um sistema de

tratamento. É muito comum que os projetos contenham o desenho de um caminhão e uma seta indicando as palavras: “disposição final adequada”; desta maneira, a gestão tem sido realizada sem planejamento e muitas vezes em condições emergenciais, pelos operadores das estações. Como consequência, alternativas inadequadas de disposição final têm sido adotadas, não sendo incomum no país o lançamento do lodo nos corpos receptores, comprometendo os benefícios do investimento realizado nos sistemas de coleta e tratamento de esgotos. O adequado planejamento da destinação final do lodo determina uma série de características da própria estação, da sua concepção, que influencia a quantidade e o tipo de lodo, até os sistemas de estabilização, desaguamento, higienização, estocagem e manuseio do lodo. Pela falta de planejamento, normalmente as estações de tratamento não contam com a estrutura mínima necessária para estas operações, demandando, portanto, readequações para se capacitarem a operar adequadamente o lodo produzido (Fernandes et al., 2001).

Canziani et al. (1999) realizaram uma análise discorrendo sobre os aspectos de economicidade do uso do lodo aeróbio alcalino, produzido na ETE de Belém, na Região Metropolitana de Curitiba. A análise foi feita comparando os custos (fixos e variáveis) entre dois tratamentos de desinfecção: a calagem a 50% e a compostagem. A produção de lodo aeróbio úmido (pós prensa desaguadora) na ETE de Belém tem se situado na faixa de 80t/dia. Como o teor de sólidos secos do produto final oscila ao redor de 13%, a produção diária de lodo, expressa em sólidos secos, é de aproximadamente 10,4t/dia. Para a calagem a 50% do peso seco, significa que para cada tonelada de lodo, de acordo com Harry (1995), devem ser adicionadas 65kg de cal virgem, considerando, então, o preço de R\$78,00/t da cal virgem, o custo desse insumo seria de R\$5,07/t. Portanto, os custos variáveis (cal, energia elétrica e a contratação de serviços, como o aluguel da pá carregadeira), totalizariam R\$6,69/t; enquanto o custo fixo (das instalações e equipamentos necessários para o tratamento do lodo com a cal), totalizaria R\$0,71/t. O custo total por tratamento seria de R\$7,40/t. Para a realização da compostagem, considerou-se uma relação de 1:1,3 na mistura de lodo aeróbio e resíduo verde, isto é, em uma produção diária de 80 t de lodo aeróbio são necessárias 104t de resíduo verde. Neste contexto se enquadram a máquina trituradora para a produção do resíduo verde triturado e o misturador necessário para homogeneizar o lodo com a resíduo. Os custos variáveis para este tratamento (energia elétrica, mão-de-obra operacional e administrativa e a contratação de serviços da pá carregadeira) totalizariam R\$8,49/t; enquanto o custo fixo totalizaria R\$1,81/t. O custo total seria de R\$10,30/t. Portanto, pode-se visualizar que o tratamento por calagem é R\$2,90/t mais econômico. Os autores ressaltam, contudo, que a qualidade agrônômica dos dois produtos finais é diferente, porém esse aspecto não foi considerado em face da inexistência de estudos agrônômicos na Região Metropolitana de

Curitiba que permitam avaliar comparativamente a resposta das culturas quando da utilização dos dois produtos.

3.2.1 Metais Pesados

O termo metal pesado não possui uma definição única, variando de acordo com o ramo da ciência que o aborda. Para defini-lo, um toxicologista daria ênfase aos elementos químicos tóxicos aos mamíferos superiores; um agrônomo daria ênfase principalmente aos elementos químicos tóxicos às culturas vegetais e um químico poderia enfatizar os elementos químicos que possuem peso específico maior que 6kg/dm^3 ou número atômico maior que vinte, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não-metais (como o selênio). Do ponto de vista ambiental, o termo metal pesado pode ser entendido como aquele elemento que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos, sendo os principais são: alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn). Desses, o As, Co, Cr, Cu, Se e Zn são essenciais aos organismos vivos (Silva et al., 2001a; SANEPAR, 1999 ; Tsutiya, 1999a).

Ao contrário dos poluentes sintéticos que foram criados pelos homens, os metais pesados são componentes naturais no meio ambiente, estando presentes em teores muito baixos em praticamente todos os ambientes naturais (rochas e solos) e alguns deles são essenciais aos processos metabólicos da vida, como cobre, ferro, manganês e zinco, considerados micronutrientes necessários às plantas. Outros, como o cádmio, não têm qualquer utilidade para as plantas e podem se tornar tóxicos ao homem e aos animais. O risco representado pelos metais está associado à sua concentração, que, quando é elevada, geralmente é provocada pela atividade antropogênica (Andreoli et al. 2001; SANEPAR, 1999).

Segundo Tsutiya (2002), os metais pesados contidos nos lodos de esgotos podem ser divididos em duas categorias, dependendo do risco que representam às plantas e aos animais:

* **metais que oferecem pequeno risco** - manganês (Mn), ferro (Fe), alumínio (Al), cromo (Cr), arsênio (As), selênio (Se), antimônio (Sb), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg).

* **metais potencialmente perigosos** - zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), molibdênio (Mo) e cádmio (Cd).

Atualmente, os metais pesados que são considerados micronutrientes para as plantas são: boro (B), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn).

Os metais pesados presentes no lodo podem ter três origens (SANEPAR, 1997; Ferreira et al. 1999):

* **rejeitos domésticos** – as canalizações de ferro e cobre e águas residuárias de lavagem contêm alguns metais.

* **águas pluviais** – as águas de escoamento de superfícies metálicas ou das ruas carregam resíduos de metais dispersos na fumaça de veículos.

* **efluentes industriais** – são a principal fonte de metais no esgoto, contribuindo com certos tipos específicos de cátions de acordo com a atividade da indústria, em ordem crescente:

a) *indústrias químicas* (formulação de compostos inorgânicos, lavanderias, indústria de petróleo, formulação de corantes e pigmentos);

b) *indústrias metálicas* (fundições);

c) *indústrias químicas* (formulação de compostos orgânicos, curtumes e indústrias farmacêuticas)

d) *galvanoplastia* (Silva et al. 2001b).

O lodo das estações de tratamento que recebem apenas efluentes domésticos contém pequena quantidade de metais pesados provenientes da própria natureza dos resíduos e das canalizações. Entretanto, além dos níveis naturais, podem ocorrer ligações clandestinas de pequenas fontes de contaminação de metais pesados, tais como: laboratórios fotográficos, de pesquisa e de análises clínicas, fábricas de baterias, postos de gasolina, lavagem de veículos, tintas, que adicionam um determinado nível de metais na rede. Além dos limites de metais pesados, os lodos de origem industrial são avaliados caso a caso, em função de sua origem, para verificação da eventual necessidade de investigações adicionais quanto à presença de substâncias cancerígenas ou persistentes (Jordão & Pessoa, 1995; SANEPAR, 1997).

De acordo com Melo et al. (2002), os metais pesados no solo podem apresentar-se sob diferentes formas:

* **na estrutura cristalina de minerais e óxidos primários** – são constituídos pelos minerais e óxidos presentes na rocha de origem e que o processo de intemperização ainda não conseguiu alterar;

* **na estrutura cristalina de minerais secundários** – minerais secundários são aqueles que se formam pela alteração dos minerais primários, estando entre eles os minerais de argila;

* **na forma de óxidos hidratados e ocluso em óxidos** – o manganês, por exemplo, ocorre na forma de $MnO_2 \cdot nH_2O$. A ligação do metal pesado aos sesquióxidos pode ser muito forte, como no caso do molibdênio, de tal forma que o mesmo não fica disponível às plantas;

* **adsorvido na superfície de colóides minerais e orgânicos** – em função do tipo de ligação que se estabelece, constituem a fração trocável, ou melhor, a fração que pode ser extraída por uma determinada solução extratora;

* **complexado com a matéria orgânica** – o molibdênio, por exemplo, forma complexos com substâncias que possuem hidroxila e nitrogenadas, caso dos aminoácidos, proteínas e lecitinas;

* **precipitado na forma de sais insolúveis** – o cádmio, por exemplo, pode precipitar-se na forma de carbonato e bicarbonato de cádmio. Em ambientes muito redutores este elemento pode formar sulfeto de cádmio, que é muito insolúvel;

* **solúvel na solução do solo** – o metal pesado presente na solução do solo pode encontrar-se em forma iônica ou complexado pela fração solúvel de matéria orgânica. O elemento da solução do solo está em equilíbrio com o elemento adsorvido, e ambos são considerados como as formas disponíveis para a nutrição das plantas.

O risco associado aos metais pesados do lodo está principalmente ligado ao fato do solo ser capaz de estocar estes metais, afetando seus processos bioquímicos. Nos solos, os metais são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo como os resíduos atmosféricos trazidos pela chuva, precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (esterco de animais, lixo domiciliar e lodos de esgotos (SANEPAR, 1997; Ferreira et al. 1999). De forma geral, o lodo de esgoto e os adubos fosfatados, são os produtos mais estudados e discutidos do ponto de vista da adição de metais pesados tóxicos ao solo. Muitas características do solo, como o pH, a capacidade de troca de cátions, o teor de matéria orgânica e mineralogia, são importantes na disponibilização dos metais. O Brasil, de forma geral, tem solos ácidos por ser um país de clima tropical, acarretando em uma maior solubilidade dos metais. A manutenção da matéria orgânica no solo é fundamental para aumentar a retenção de metais pesados, visto que estes formam complexos com compostos orgânicos, principalmente, ácidos húmicos e fúlvicos, o que diminui sua disponibilidade e toxidez para as plantas e reduz sua mobilidade no solo. Alguns autores classificam as zonas poluídas por metais pesados com base no teor de matéria orgânica das mesmas - um solo é considerado poluído quando o teor de metais pesados do mesmo atinge níveis 3 a 5 vezes superiores aos teores originais, para solos onde o teor de húmus está entre 1 e 1,5%; e 5 a 20 vezes superiores aos teores originais, quando o teor de húmus está entre 3 e 4% (Melo et al. 2002).

É fundamental se conhecer a quantidade de elementos poluentes que estão sendo incorporados ao solo para poder-se limitar a quantidade de bio-sólidos a aplicar, prevenindo a ocorrência de qualquer problema futuro. Existem diversos fatores envolvidos na dinâmica

destes elementos no solo, nutriente ou não, com a matéria orgânica e da interação dos metais entre si. Por exemplo, a presença de cloro no solo pode precipitar a prata, impedindo sua absorção e, por outro lado, aumentar a disponibilidade de cádmio; de forma similar, o zinco pode ser absorvido em quantidades tóxicas pelas plantas antes que o acúmulo de cádmio seja significativo, revelando uma dinâmica bastante complexa destes elementos no solo (Silva et al. 2001a).

Tsutiya (2002) reporta que em um estudo realizado por Beckett (1991) a toxidez devido ao metal pesado para a planta e o animal, deve ser acompanhada e por isso medida pelas seguintes variáveis: diminuição no crescimento ou redução na colheita, sintomas visíveis e concentração de metal pesado no tecido. O primeiro efeito ou manifestação pode ser devido à interferência provocada pelo elemento na absorção, transporte ou funções de outro efeito. O sintoma visível, que poderá não ser específico, é o resultado de uma cadeia de acontecimentos que começa com uma alteração ao nível molecular, continua com uma modificação subcelular que, por sua vez, conduz a uma alteração celular a qual, finalmente, resulta em modificação no tecido, ou seja, no sintoma. Incidência de doenças, ataques de pragas, condições de clima (insolação, chuva, seca, frio) podem provocar sintomas parecidos com os de toxidez. Para saber se a anormalidade visível é causada pela toxidez de um determinado elemento devem ser considerados os seguintes aspectos: generalização (o sintoma deve aparecer em áreas relativamente grandes e não em plantas isoladas); gradiente (de um modo geral os sintomas são mais acentuados em folhas mais velhas, as mais novas mostram-se menos pronunciados); e simetria (folhas de um mesmo par ou próximas umas das outras devem mostrar a anomalia). Cada cultura responde de forma diferente à presença de metais pesados, de acordo com a espécie e a idade fisiológica.

Marques et al. (2000), avaliaram os teores de metais pesados e suas relações com o crescimento de mudas de vinte espécies arbóreas utilizando amostras de solo contaminado por metais pesados, coletadas em área de rejeito da Companhia Mineira de Metais (Três Marias, MG), e de um solo não contaminado. Em função do elevado nível de contaminação, o solo contaminado foi misturado em diferentes proporções (0, 20, 40 e 60%), com o solo não contaminado. Os dados foram submetidos à análise de variância, testes de médias e a testes de regressão. Os resultados evidenciaram uma enorme variação das espécies em relação à capacidade de absorver e translocar o zinco, o cádmio e o chumbo. De modo geral, verifica-se que as espécies menos afetadas pela contaminação concentraram os metais absorvidos nas raízes, portanto, limitando sua translocação para a parte aérea, resultante de diversos mecanismos que reduzem a disponibilidade na rizosfera, a retenção dos metais na parede celular ou na superfície da raiz e a imobilização no citoplasma, diminuindo sua atividade na

planta. Algumas espécies mostraram que podem sobreviver em condições de excesso de metais no solo, embora por um curto período de tempo, enquanto outras toleram o estresse desses ambientes e foram encontradas na área onde foi coletado o solo contaminado, por exemplo, a cagaita (*Eugenia dysenterica*) e a ingá-bravo-do-cerrado (*Inga sp.*). As espécies arbóreas se comportam de forma diferenciada frente à contaminação do solo por metais pesados.

Gimenez et al. (1992) realizaram um trabalho avaliando a toxicidade do cobre em mudas de cafeeiro procurando correlacionar os efeitos tóxicos com a habilidade extratora de várias soluções. O trabalho foi desenvolvido em condições de casa de vegetação do Instituto Agrônomo do Paraná, utilizando dois tipos de solos – um com textura argilosa e outro com textura arenosa, e seis dosagens de cobre (0, 5 10, 50 100 e 200 µg/g) fornecidas pelo sulfato de cobre, com e sem calagem, durante sete meses. No final do experimento coletaram-se, separadamente, as folhas, os ramos, as raízes e amostras do solo de cada vaso para análise química. Os resultados para os teores de cobre nas diferentes partes da planta demonstram maior acúmulo nas raízes, comparativamente às concentrações nas folhas e nos ramos; nestes, os aumentos foram proporcionais às doses de cobre aplicadas ao solo, o que evidencia o transporte ascendente do metal. O teor do metal extraído no solo aumentou com o nível de cobre adicionado, sendo maior no argiloso. A calagem reduziu o teor do metal no solo e aumentou a produção de matéria seca das plantas. No geral, os teores de cobre extraídos variaram em função da solução extratora utilizada.

Os metais presentes no lodo podem ter a sua disponibilidade influenciada por reações como adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução. Em muitos países, e mesmo no Brasil, a presença de metais pesados é um dos entraves mais fortes à reciclagem agrícola em função da possibilidade de contaminação do lençol freático. Na literatura, até o momento, não se tem notícias de problemas de toxidez crônica em decorrência da disposição dos efluentes. Há de se acrescentar ainda que o equacionamento deste fator problemático depende do controle das descargas industriais na rede de coleta de esgotos. É recomendação unânime entre as legislações internacionais a manutenção de pH alcalino ou neutro para diminuir a mobilidade de metais pesados do lodo ao solo e do solo às plantas. Critério viável no Brasil devido aos solos, caracteristicamente ácidos, e ao sistema de higienização por calagem preconizado no país, o que responde com incremento do pH do solo. Nos casos de solo neutralizado, pode causar prejuízo ao desenvolvimento das culturas pelo aumento excessivo do pH. A comunidade européia utiliza o pH do solo entre 6 a 7 para a determinação dos valores limites de metais pesados (Ilhenfeld et al. 1999).

As concentrações máximas permissíveis de metais pesados nos lodos de esgoto para uso agrícola, foram estabelecidas em dezessete países (Tabela 2). Países como Holanda e Suécia tendem a restringir os valores máximos de metais pesados, enquanto os Estados Unidos recomendam os maiores níveis permitidos para quase todos, com exceção do chumbo. No Brasil, o Estado de São Paulo, segundo a Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental (CETESB), propõe os valores adotados nos Estados Unidos, enquanto o Estado do Paraná utiliza os valores adotados pela norma espanhola.

Tabela 2–Concentrações máximas permissíveis de metais pesados nos lodos de esgotos para uso agrícola

País	Concentração máxima de metais (mg/Kg base seca)										
	Arsênio	Cádmio	Cobalto	Cromo	Cobre	Mercúrio	Molibdênio	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco
Alemanha	--	20	--	1200	1200	25	--	200	1200	--	3000
Austria	--	10	100	500	500	10	20	100	500	--	2000
Bélgica	--	10	20	500	500	10	--	100	300	25	2000
Canadá	75	20	150	--	--	5	20	180	500	14	1850
Comunidade Européia	--	20 a ¹ 40 b ²	--	--	1000 a 1750 b	16 a 25 b	--	300 a 400 b	750 a 1200 b	--	2500a 4000b
Dinamarca	--	8	--	--	--	6	--	50	400	--	--
Escócia	150	20	--	800	1000	7,5	25	250	800	40	2500
Estados Unidos	75	85	--	--	4300	57	75	420	840	100	7500
Finlândia	--	30	100	1000	3000	25	--	500	1200	--	5000
França	--	20	--	2000	1000	10	--	200	800	100	3000
Grécia	--	40	--	--	1750	25	--	400	1200	--	4000
Holanda	10	5	--	500	600	5	--	100	500	--	2000
Inglaterra	--	--	--	--	--	--	--	--	1000	--	--
Itália	--	10	--	750	1000	10	--	200	500	--	3000
Noruega	--	10	20	200	1500	7	--	100	300	--	3000
Suécia	--	4	--	150	600	5	--	100	200	--	1500
Suíça	--	30	100	1000	1000	10	20	200	1000	--	1000

Fonte: Tsutiya (1999c)

3.2.2 Principais Microrganismos Patogênicos

Lodos de esgotos são concentradores naturais de nutrientes e microrganismos oriundos dos esgotos durante os processos de tratamento secundário, e que permanecem adsorvidos às suas partículas. Estes microrganismos podem ser favoráveis à ação do produto como condicionador do solo, como os microrganismos envolvidos nos processos de liberação de nutrientes ao sistema solo/planta. Por outro lado, alguns são patogênicos e, portanto, indesejáveis, quer pelos riscos às pessoas que efetuam a sua manipulação, quer pela sobrevivência dos mesmos após aplicação e contaminação das partes das culturas que mantêm contato direto com o lodo (Ilhenfeld et al. 1999; Bonnet et al. 1998).

¹ a : pH < 7

² b : pH > 7

Várias são as vias de contaminação, mas a via oral é a mais importante epidemiologicamente, não podendo ser descartadas outras vias como a inalação. A infecção se dá de forma direta (ao se ingerir ou manusear solo ou vegetais com ovos de helmintos viáveis) ou indireta (através da ingestão de água contaminada ou do consumo de vegetais crus plantados em solo adubado com lodo de esgoto contendo ovos ou larvas de helmintos ou cistos de protozoários). A origem dos microrganismos patogênicos pode ser de procedência humana ou animal. Com relação à procedência humana, esta reflete diretamente o nível de saúde e condições sócio-econômicas da população, as condições de saneamento básico de cada região e o tipo de tratamento a que o lodo foi submetido; no tocante à animal, pode ser através da eliminação de seus dejetos na rede de esgotos, ou então pela presença de animais na rede de esgotos, principalmente roedores. Dentre os microrganismos patogênicos, cinco grupos podem estar presentes no lodo: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias, causando riscos à saúde humana e animal. Quanto à dose infectante, para ovos de helmintos e cistos de protozoários apenas um ovo ou cisto é suficiente para infectar o hospedeiro (Silva et al. 2001c).

* *Helmintos*

Os helmintos de interesse sanitário no lodo de esgotos são os nematóides e cestóides. Diversos autores afirmam que o ambiente encontrado em processos de tratamento é propício ao embrionamento de ovos de helmintos. *Ascaris lumbricoides* é um nematóide de grande interesse por apresentar ovos de constituição particularmente resistente e capazes de sobreviver no solo por até sete anos, de acordo com o limite documentado. Após a ingestão de ovos por um hospedeiro, larvas penetram a parede intestinal e através da corrente sanguínea passam pelo fígado e atingem as vias respiratórias e a faringe, ocasionando a Síndrome de Loeffler (caracterizada por tosse, dores no peito, perda de fôlego e febre), que ocasiona novamente sua deglutição e a migração e maturação no intestino delgado (Bonnet et al. 1998). Os helmintos mais frequentes são *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris suum*, *Ancylostoma duodenale*, *Trichuris trichiura*, *Taenia solium*, *Taenia saginata*, *Necator americanus* e *Hymenolepis nana*.

O tempo de sobrevivência dos ovos no ambiente depende da espécie em causa, da temperatura ambiente, umidade, luz solar, pH do solo e oxigênio. Processos de estabilização química são parcialmente eficientes na eliminação de ovos de helmintos, especialmente em relação a ovos de *Ascaris spp.*, que parecem ser os mais resistentes a esses processos.

No Paraná, pesquisas em parasitologia do lodo conduzidas por pesquisadores ligados à Universidade Federal do Paraná estabeleceram a necessidade de determinar não apenas a quantidade e espécies de ovos de helmintos, mas o percentual de viabilidade destes organismos em lodos digeridos e após os tratamentos de higienização. Com isso, ganha importância fundamental o tipo de tratamento aplicado ao lodo digerido e aspectos de gerenciamento na estação de tratamento, como a estocagem (SANEPAR, 1999).

* *Protozoários*

Cistos de protozoários são pouco resistentes à desinfecção do lodo e ambiental. Entre os organismos de maior interesse sanitário, está a *Entamoeba histolytica*. Os processos de estabilização química não demonstram eficiência como inativadores de cistos de protozoários no lodo, mas processos de estabilização biológica são tidos como eficazes. A capacidade patogênica é variável; pode-se distinguir os agentes patogênicos estritos (frequentemente responsáveis por afecções) e os patogênicos oportunistas (induzem à doença em caso de diminuição de imunidade do hospedeiro). Os principais parasitos encontrados no lodo são *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli* e *Toxoplasma gondii* (Bonnet et al. 1998).

A presença de parasitos em lodos de esgotos tem sido pesquisada em diferentes países do hemisfério norte, principalmente nos Estados Unidos (USEPA, 1992) e em países da Europa, que utilizam o lodo como adubo orgânico na agricultura. Vários trabalhos de pesquisa foram realizados para determinar a presença de agentes patogênicos no lodo e seu número é expresso em grama por matéria seca. Este número é variável de um país para outro e pode variar, também, em função do tempo (mês, ano e estação) e da amostragem feita. Em termos do Brasil, poucos são os dados disponíveis na literatura recente, existindo dados na Paraíba (Ayes et al. 1994), no Paraná (Thomaz-Soccol et al. 1997), no Espírito Santo (Passamani et al. 2000b), São Paulo (Tsutiya, 2001) e em Brasília (Luduvic, 2000). Porém, a comparação de resultados é muito difícil devido à forma de expressão destes, da metodologia de coleta do lodo e dos métodos de recuperação dos ovos, bem como do tipo de lodo produzido. Ayes et al. (1994), trabalhando em lagoas de estabilização em Campina Grande, PB, observaram maior número de ovos, 40/gMS, de helmintos coletados a uma distância de 7,5 m de profundidade. Thomaz-Soccol et al. (1997), trabalhando com lodo proveniente da ETE Belém, PR, observaram uma variabilidade no número de ovos de helmintos, na faixa de 1 a 32 ovos/gMS. Passamani et al. (2000b), avaliando a ETE Parque do Flamengo em Vitória, ES, encontraram 12 ovos/gMS. Tsutiya (2001), estudando a ETE Barueri em São Paulo,

encontrou valores de 0,31 e 0,25 ovos/gMS para os anos de 1993 e 1997. A carga de agentes patogênicos presentes no lodo, além de ser variável de uma região para outra, está na dependência do processo de tratamento a que o esgoto tenha sido submetido. Ludovice (2000), em uma ETE tipo lodos ativados em Brasília, encontrou 16 ovos de helmintos/100mL de lodo (Silva, 2001; Andraus et al. 1998).

* **Fungos**

Resultados de investigações sobre fungos em lodo de esgoto não são freqüentes na literatura internacional. Um trabalho conduzido no Brasil (Gambale et al. 1987 apud Bonnet et al. 1998) com lodos gerados pela Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental (CETESB), forneceu alguns indicativos sobre a presença do Reino Fungi em amostras de lodo digerido aeróbio centrifugado, com elevada incidência de bolores (gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Scedosporium*, *Penicillium*, *Cephalosporum*, *Verticillium* e *Trichoderma* com maior importância) e leveduras (gêneros *Cândida*, *Trichosporum*, *Rhodotorula*, *Torulopsis* e *Geotrichum*). Os tratamentos térmico e químico são apenas parcialmente efetivos na redução do número de gêneros de fungos. Dos 28 gêneros detectados no estudo, cerca de 60% utilizam como via de dispersão o ar atmosférico e relacionam-se a alergias das vias respiratórias e tubo digestivo do homem e de outros animais.

* **Vírus**

Os vírus estão presentes em diferentes tipos de águas residuárias e lodos provenientes de diversos tipos de tratamento; afetam seres humanos e animais e podem ser transmitidos através do solo, alimentos, água, em aerossóis e na poeira. A transmissão também pode se dar por contato com mucosas e por inalação. Esta via indireta representa risco para os indivíduos que trabalham em estações de tratamentos, distribuidores de lodo e pessoas que manipulam produtos líquidos, secos ou pastosos derivados do lodo. A infecção por vírus geralmente ocorre por via direta como a oral, por aspiração ou ingestão do lodo. Indiretamente, pode haver infecção por ingestão de água ou alimentos contaminados com lodo contendo patogênicos. Partículas virais não se reproduzem fora de células hospedeiras e são espécies específicas. Exceção é feita aos retrovírus e rotavírus - com sorotipos similares em gado e suínos e em outros animais, inclusive o homem - e ao vírus da hepatite A, infectivo ao homem e a outros primatas e, segundo Mendes (1981), o vírus que suscita maior preocupação sanitária quando da aplicação agrícola de lodos. Os vírus podem ser virtualmente eliminados

por tratamento térmico e compostagem. A radiação solar, a predação e a competição minimizam de forma efetiva as possibilidades de infecção dos vírus após a aplicação do lodo ao solo. A dose mínima infectante é da ordem de 10^2 vírus, e os enterovírus são tidos como indicadores da presença destes microrganismos. É importante ressaltar que o homem ou animal podem se infectar a partir de outras fontes e que estas podem ser muito mais importantes que a utilização do lodo (Silva et al. 2001c).

* **Bactérias**

É senso comum que bactérias são os organismos típicos mais frágeis aos processos de tratamento de lodos e sua concentração é reduzida pela radiação solar e desidratação do lodo. A maioria das bactérias presentes no esgoto é originária das fezes humanas, e poucas, como a *Leptospira* spp., são provenientes de urina. Os agentes bacterianos mais frequentes são *Salmonella* spp., *Shigella* sp., *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* e *Leptospira* sp. É necessário considerar, também, as bactérias patogênicas oportunistas como o gênero *Listeria* spp.. A *Listeria monocytogenese* pode constituir um risco para a saúde de certos indivíduos como resultado da aplicação de lodo ao solo. A dose mínima infectante pode variar de um agente patogênico para outro, porém, de maneira geral, a dose calculada, segundo a USEPA (1992), é da ordem de $10^2 - 10^6$ (Bonnet et al. 1998).

Entre as principais doenças de origem bacteriológica estão o tifo e diarreias. Apesar de ser componente característico da flora intestinal humana e de muitos animais, algumas cepas de *Escherichia coli* podem causar diarreias infantis sérias, gastroenterites e infecções urinárias em adultos. Sensíveis à maioria dos métodos de desinfecção de lodos, os coliformes fecais são reduzidos em 99,9% após condicionamento químico e passagem por prensa desaguadora, enquanto que a redução de estreptococos fecais é pouco inferior (da ordem de 99,6%), em concordância com dados internacionais (Ilhenfeld et al. 1999). É importante ressaltar que as bactérias são potencialmente fontes de doenças epidêmicas, por esta razão devem ser monitoradas nos diversos processos de tratamento de esgoto (Silva et al. 2001b).

No Brasil, comumente, os agentes patogênicos constituem o elemento de limitação ao uso lodo na agricultura. Porém, é o fator mais facilmente controlado através da adoção de soluções técnicas de higienização do lodo que levem à eliminação do patógeno, como a calagem ou a compostagem, por exemplo. Cada normatização relacionada à sanidade do lodo de esgoto estabelece seus parâmetros restritivos. No Estado do Paraná, para fins de caracterização do perfil sanitário do lodo, estão sendo estabelecidos os indicadores: ovos de helmintos viáveis e coliformes fecais. Uma vez realizado o controle desses patógenos, os

demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente. Assim, a utilização do lodo em culturas de contato primário com o solo, só é aceitável se o lodo tiver sido submetido a tratamentos, como a secagem térmica, que garantam uma redução dos patógenos até os níveis estabelecidos (Ilhenfeld et al. 1999).

Em um sistema operacional de controle de qualidade sanitária do lodo de esgoto de uma Estação de Tratamento, o monitoramento de todos os organismos patogênicos presentes no lodo é economicamente inviável, além de tecnicamente desnecessária. A dinâmica dos microrganismos envolvidos nos próprios processos de tratamento é pouco conhecida, e a análise qualitativa e quantitativa destes organismos, mesmo que detida apenas àqueles organismos patogênicos e conhecidos, envolveria custos laboratoriais elevados (Jordão & Pessoa, 1995; Ilhenfeld et al. 1999). Porém, as características biológicas e de resistência ambiental destes organismos são comuns a diversos grupos, tornando possível uma seleção de organismos indicadores. Para esta seleção, são levadas em consideração certas bactérias que possuem técnicas analíticas simples, fazem parte da flora normal do tubo digestivo e são relativamente resistentes; a presença destas em alimentos ou em água potável indica a presença de matéria fecal. Decorrente disto, estes microrganismos são chamados de indicadores de contaminação fecal e compreendem: coliformes totais, coliformes fecais e *Streptococcus faecalis*. O refinamento de uma seleção depende, contudo, de estudos locais sobre a população de organismos patogênicos dos esgotos, e de seu comportamento em condições de campo e manejo específicos a cada sistema (Ilhenfeld et al. 1999; Silva et al. 2001c).

Segundo estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1992), o tempo de sobrevivência máximo médio de patógenos no solo é de até setenta e cinco dias para bactérias, doze dias para vírus, oito dias para protozoários e dois anos para ovos de helmintos. Para este último grupo, o valor máximo absoluto pode chegar a sete anos, tornando-o o grupo de agentes patogênicos de maior preocupação para um processo de reciclagem agrícola do lodo de esgoto. A persistência dos patógenos no solo é comumente aumentada em baixas temperaturas, potencial hidrogeniônico neutro e ausência de barreiras físicas contra radiações ultravioletas. Sua capacidade de movimentação no solo está ligada à movimentação da água intermolecular do lodo e de águas que transpassem estes flocos, condicionadas pela umidade do lodo e do solo e pela capacidade de retenção do solo (Ilhenfeld et al. 1999).

⇒ Tempo de sobrevivência

* Solo

Quando o lodo não tratado é depositado no solo os microrganismos patogênicos ficam na superfície do solo e dos vegetais. O tempo de sobrevivência deles varia de acordo com: a *capacidade de sobrevivência do próprio microrganismo*; a *textura e pH do solo* (em solo arenoso o tempo de sobrevivência de ovos de helmintos é menor que em solos úmidos); *incidência de luz solar* (os raios solares incidindo diretamente sobre os microrganismos produzem dessecação e diminuem o tempo de sobrevivência); *temperatura ambiente* (no verão, o tempo de vida dos cistos de protozoários e ovos de helmintos é mais curto que no inverno); *método de aplicação do lodo no solo* (quando o lodo é aplicado diretamente no solo, a incidência de raios solares contribui para diminuir o tempo de sobrevivência dos parasitos; quando é incorporado ao solo, fica menos exposto e o tempo de sobrevivência aumenta); *capacidade de retenção de água* (por exemplo, solos arenosos propiciam a sobrevivência de alguns microrganismos como Ancylostomatidae, e diminuem a de outros, como bactérias) e *fauna microbiana do solo* (a competição de microrganismos pode favorecer ou não a sobrevivência dos microrganismos patogênicos e alterar o equilíbrio ecológico) (Silva et al. 2001c).

* Água

Os microrganismos patogênicos presentes no solo onde foi aplicado o lodo poderão contaminar os cursos de água. Essa água contaminada se usada para consumo humano ou animal ou irrigação de plantas, podem servir de fonte de contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos ao homem e aos animais. O tempo de sobrevivência destes microrganismos na água é variável, podendo ir de dez a sessenta dias para bactérias, de sessenta a cento e vinte dias para vírus entéricos e de vários meses para ovos de helmintos (Silva et al. 2001c).

* Vegetais

Dependendo do tipo de microrganismo e da natureza do vegetal, o tempo de sobrevivência varia. Novamente, vírus, bactérias e protozoários têm tempo de sobrevivência menor em relação aos ovos de helmintos, principalmente aqueles ovos que possuem membranas mais espessas como *Ascaris sp.* e *Taenia sp.*. Para os vírus, o tempo de

sobrevivência situa-se entre quatro e sessenta dias; para as bactérias varia de dez a quarenta dias; para os protozoários o tempo máximo é de quinze dias e os ovos de helmintos podem sobreviver meses. Em relação ao tipo de vegetal, é natural que aqueles que têm contato direto como o solo (raízes e legumes) têm maior risco de apresentar agentes patogênicos; em vegetações mais altas (maçã e laranja), as chances de contaminação são menores. Silva et al. (2001c) citam que Schwartzbrod et al. (1990) demonstraram que os ovos de helmintos podem sobreviver de oito a quinze dias em alface, vinte e oito dias em tomate e dez a trinta dias em rabanetes.

3.2.3 Nutrientes

A planta retira do solo os elementos minerais indispensáveis ao seu crescimento, denominados de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) ou micronutrientes (boro, cloro, cobalto, cobre, ferro, manganês, níquel, selênio e zinco). Entre os macronutrientes, o nitrogênio e o fósforo são encontrados em maiores quantidades no lodo bruto. O cálcio e, dependendo do tipo da cal, o magnésio são introduzidos em lodos estabilizados através da calagem. Geralmente, o potássio é o elemento limitante e juntamente com o fósforo definem os critérios de recomendação e de complementação mineral para o uso agrônomico do lodo. Em função da sua quantidade no solo e da solubilidade, o nitrogênio é o macronutriente principal que define os limites máximos de aplicação no que se refere às necessidades das culturas quanto aos riscos de poluição ambiental (SANEPAR, 1997; Bonnet et al. 1998; Ilhenfeld et al. 1999).

A matéria orgânica e os elementos fertilizantes (nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes), têm papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. O interesse agrícola pelo uso de biossólidos está associado principalmente ao seu conteúdo em nutrientes, com destaque para nitrogênio, fósforo e micronutrientes, e ao teor de matéria orgânica. Os efeitos da matéria orgânica se fazem sentir a longo prazo, melhorando a resistência dos solos à erosão e ao adensamento, ativando a vida microbiana e aumentando a resistência das plantas a pragas e doenças. Enquanto os efeitos de nutrientes podem ser observados a curto e médio prazos, sendo necessário um planejamento cuidadoso para evitar que a aplicação comprometa a qualidade da água superficial ou subterrânea, bem como o potencial produtivo do solo (Andreoli et al. 2001; SANEPAR, 1997).

⇒ **Nitrogênio**

O nitrogênio é normalmente o mais valioso constituinte do lodo, sendo o elemento ao qual as culturas apresentam maiores respostas. Também pode ser usado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de lodo a ser aplicado ao solo, pois, acima de um certo nível, pode lixiviar em forma de nitratos e contaminar o lençol freático. É originado a partir dos dejetos humanos presentes no esgoto e da biomassa microbiana, encontrando-se nas formas inorgânicas (mineralizadas) como nitratos e amônio, e orgânicas, por exemplo constituindo moléculas de proteínas, aminoácidos, amôniaçúcares e amido. A fração orgânica constitui a maior porção do nitrogênio do lodo, variando de 70 a 90%, dependendo do tipo de biossólidos e da sua idade. As formas minerais (nitrato- NO_3^- e amoniacal- NH_4^+), apesar de representarem pequena fração do nitrogênio total, apresentam-se prontamente disponíveis às plantas, mas, no entanto, podem ser rapidamente lavadas do perfil do solo com as chuvas, enquanto que o nitrogênio orgânico deverá sofrer o processo de mineralização, transformando-se lentamente em formas minerais, para só então ser absorvido pelas plantas (Andreoli et al. 2001; SANEPAR, 1997).

A velocidade de mineralização é muito variável em função de fatores como temperatura, umidade e atividade microbiana no solo; como consequência, não se pode definir um valor universal para esta fração mineralizada, que pode variar amplamente de local para local e de ano para ano, no entanto, sabe-se que varia entre 20 e 70% do nitrogênio orgânico aplicado. A fração de volatilização do nitrogênio amoniacal também é variável, principalmente em função da exposição ao ar. Estas perdas podem ser minimizadas com a incorporação do biossólidos ao solo; desta forma, grande parte da amônia que volatiliza será retida pelas partículas do solo e permanecerá disponível às plantas. Adota-se um valor típico desta fração mineralizada de 30% (Andreoli et al. 2001; SANEPAR, 1997).

Pelo exposto, entende-se que o lodo pode atender completamente a necessidade deste nutriente nas culturas, podendo ser aplicado em uma única oportunidade e liberando lentamente o elemento no solo, à medida que a planta necessitar. Ressalte-se que a sua grande solubilidade representa grande risco de contaminação do lençol freático, por esta razão as doses de biossólidos muitas vezes são limitadas em função do aporte de nitrogênio adicionado com o biossólido, que nunca deve ser superior à demanda da cultura (Andreoli et al. 2001).

⇒ **Fósforo**

O fósforo do lodo provém dos dejetos da biomassa microbiana que atua no tratamento do esgoto e dos detergentes e sabões, que utilizam fosfatos como aditivos, e são os maiores contribuintes de fósforo nos esgotos. Algumas formas de tratamento do lodo como a calagem,

podem reduzir um pouco a disponibilidade deste elemento contido no lodo. Considera-se que, em média, 50% do fósforo estará disponível para as plantas no primeiro ano de aplicação do lodo. O lodo apresenta uma biodisponibilidade de 40 a 80% do total do fósforo contido no material. As plantas necessitam de quantidades pequenas de fósforo para seu desenvolvimento vegetativo e produção, no entanto, este nutriente é o elemento mineral mais aplicado na agricultura brasileira, decorrente da baixa eficiência das adubações químicas do solo com o elemento. Apenas 5 a 30% do total de fósforo aplicado através de fertilizantes químicos são aproveitados pelas plantas, fenômeno ocasionado pela alta capacidade de fixação deste elemento nos solos brasileiros, tanto por precipitação quanto por adsorção (Andreoli et al. 2001; SANEPAR, 1997).

O biossólido pode contribuir de duas formas para a otimização do uso de fósforo na agricultura: pode ser considerado fonte de fósforo, apresentando uma liberação lenta e contínua deste elemento para as plantas e pode atuar no ciclo do fósforo no solo auxiliando na disponibilidade do fósforo mineral fixado. A matéria orgânica, ao ser decomposta, libera ácidos, solubilizando parte do fósforo mineral fixado no solo, podendo complexar o fósforo da solução do solo, liberando-o mais tarde e podendo, ainda, revestir os componentes do solo que fixam o fósforo mineral (Andreoli et al. 2001).

⇒ **Potássio**

O potássio é muito solúvel, logo, o pouco contido no esgoto fica retido no lodo. Por isso sua concentração é baixa, sendo um macronutriente a ser fornecido pela suplementação de fertilização mineral. Mesmo encontrado em baixos teores, 100% deste nutriente é considerado assimilável (SANEPAR, 1997).

⇒ **Macronutrientes**

Outros macronutrientes como cálcio, magnésio e enxofre estão presentes no lodo, essencialmente na forma mineral. Mesmo aplicações modestas de lodo podem suprir as necessidades em magnésio e enxofre na maioria dos vegetais. O lodo tratado com cal incorpora cálcio e magnésio e pode influenciar na reação do solo - aumenta do pH, reduz os níveis de alumínio e manganês tóxicos, melhora a absorção de nutrientes e estimula a atividade microbiana. Porém, demandará maior cautela na recomendação de uso, podendo provocar desequilíbrio nutricional, salinização e aumento dos níveis de pH, acima de 6,5, o que prejudicará o desenvolvimento das culturas e sua produtividade (Andreoli et al. 2001;

SANEPAR, 1997). De acordo com Andreoli et al. (2001), estes problemas poderão ser encontrados com maior intensidade em solos com elevados teores de cálcio e magnésio, ou em solos salinos.

⇒ **Micronutrientes**

Com relação aos micronutrientes, o lodo contém cobre, zinco, manganês e quantidades menores de boro, molibdênio e cloro. Geralmente, quando o lodo é aplicado em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio, as necessidades de micronutrientes também são supridas (SANEPAR, 1997).

3.3 Alternativas de Disposição do Lodo

A questão da disposição final dos lodos gerados nos processos de tratamento de esgotos urbanos é um problema emergente no Brasil, à medida em que se implantam e se operam os sistemas de coleta e tratamento de esgotos no país. A perspectiva de aumento da população e a crescente concentração na região urbana vêm exigindo do Estado e da iniciativa privada a definição de ações imediatas para equacionar uma demanda social com grande tendência ao agravamento - a limitação técnica e econômica da disposição final de resíduos.

As diferentes práticas de disposição dos lodos de esgotos no solo, de forma generalizada, podem ser agrupadas em duas categorias: uso benéfico – quando a aplicação objetiva beneficiar-se das propriedades do produto como fertilizante e condicionador do solo, envolve práticas como a reciclagem agrícola e o reflorestamento, o uso em recuperação de áreas degradadas e a produção de substratos de mudas e fertilizantes; e a categoria de descarte – quando as práticas utilizam o solo como substrato para decomposição do resíduo, ou como local de estocagem, sem tirar proveito de suas propriedades benéficas (Andreoli et al. 2001).

⇒ ***Reciclagem agrícola***

Do ponto de vista agrônomo, os biossólidos apresentam em sua constituição quantidades significativas de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas, ao mesmo tempo em que seu conteúdo de material orgânico representa outro fator de interesse para a agricultura, visto que sua incorporação ao solo é uma forma de adicionar matéria orgânica que, parcialmente transformada, terá repercussões positivas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Andreoli et al. 2001; SANEPAR, 1999).

***Propriedades Físicas** – a matéria orgânica promove melhor agregação das partículas, melhorando sua estrutura e, com isso, o desenvolvimento radicular e a infiltração de água. Atua, ainda, incentivando um crescimento vegetal mais rápido e denso, formando uma cobertura mais rápida sobre o solo e, conseqüentemente, reduzindo o impacto da gota de chuva sobre o solo (SANEPAR, 1997). As propriedades físicas do solo são de fundamental importância para o suporte do crescimento das plantas. Entre as que são alteradas pela matéria orgânica, citam-se estrutura, densidade e capacidade de retenção de água (Melo et al. 2002).

Fiest et al. (1998) realizaram um trabalho em campo avaliando a aplicação do lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo. Os resultados obtidos para a densidade do solo mostraram que esta propriedade foi alterada significativamente com a aplicação do lodo de esgoto, apresentando maior acréscimo na dosagem de 3,2t/ha de lodo de esgoto. Para a densidade das partículas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e retenção de água, os resultados não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

***Propriedades Físicas e Químicas** - os colóides húmicos aumentam a capacidade do solo em reter nutrientes minerais, o que permite melhor uso dos adubos convencionais. A matéria orgânica fornece nutrientes após a mineralização para a planta e para os organismos do solo (SANEPAR, 1997). A maior influência da porção orgânica do biossólido nas propriedades químicas do solo está na alteração do seu complexo coloidal. Em doses acima de 30 t/ha de biossólido, tem sido observada correlação significativa entre a capacidade de troca de cátions do solo e as frações da matéria orgânica por um período que varia de 230 a 300 dias (Melo et al. 2002).

A influência do lodo de esgoto na retenção de carbono orgânico no solo foi avaliada por outros autores que observaram um aumento significativo deste elemento e da capacidade de troca catiônica do solo. Desta maneira, a reciclagem agrícola do lodo, bem como qualquer outra forma de manejo da matéria orgânica do solo, explora os benefícios diretos do aumento da produtividade e da melhoria das condições físicas do solo, e devem ser estimuladas para compor políticas globais do balanço do ciclo do carbono (Andreoli et al. 2001).

***Propriedades Biológicas** - a matéria orgânica é suporte e fonte de alimentação para a microbiota do solo, cuja atividade influi diretamente na nutrição mineral das plantas (SANEPAR, 1997). O biossólido, sendo rico em matéria orgânica, que funciona como fonte de energia, de carbono e de nutrientes, tende a favorecer o crescimento da população microbiana do solo, além de que, a adição do biossólido ao solo melhora sua capacidade de aeração e de retenção de água, características que são favoráveis ao crescimento da maioria dos microrganismos do solo. Saliente-se que os efeitos da matéria orgânica e dos nutrientes,

contudo, podem ser neutralizados pela presença de metais pesados e de outras substâncias que apresentam poder de inibir o crescimento de microrganismos (Melo et al. 2002).

O uso agrícola ambientalmente é a solução mais correta, pois promove o retorno dos nutrientes ao solo, colaborando para o fechamento dos ciclos biogeoquímicos. O valor agrícola dos lodos como insumo agrícola, a sazonalidade das demandas e os custos envolvidos no seu beneficiamento e transporte, assim como um plano gerencial para a atividade e monitoramento ambiental, são aspectos relevantes para a análise desta alternativa. Porém, a viabilização da reciclagem agrícola do lodo de esgoto só é possível com o conhecimento de todas as implicações ambientais, sanitárias e agronômicas do uso do lodo nas condições naturais dos solos, bem como de sua aceitação perante o público. Desta forma, a regulamentação de uso é um pré-requisito básico para a utilização desta prática que apresenta grandes dificuldades para sua correta definição, de forma a garantir o uso seguro sem, contudo, inviabilizar o processo pelo excesso de exigências. As regulamentações de uso asseguram a proteção à saúde animal e humana, a qualidade das colheitas, do solo e do meio ambiente em todo o mundo. É uma alternativa particularmente promissora para países como o Brasil, onde se faz necessária à reposição do estoque de matéria orgânica dos solos devido ao intenso intemperismo do solo em consequência das condições climáticas (Andreoli et al. 1999; Ilhenfeld et al. 1999; SANEPAR, 1997).

A viabilização da reciclagem agrícola não depende somente das implicações ambientais, sanitárias e agronômicas, mas também da sua aceitação perante o público. Atualmente, a aceitação pública tem sido considerada como um dos fatores determinantes para a utilização do lodo como insumo agrícola (Andreoli et al. 1999).

Fernandes et al. (1996) realizaram um trabalho sobre a caracterização de lodos produzidos pelos principais sistemas de tratamento de esgotos do Paraná, visando um programa de reciclagem agrícola. Os resultados obtidos confirmam que a reciclagem agrícola deste material é uma excelente alternativa para seu destino final, requerendo um monitoramento constante dos parâmetros: metais pesados e microrganismos patogênicos (dependendo da concentração é necessário um tratamento de higienização para diminuir os riscos associados à reciclagem). Ressaltando que, na verdade, a questão relevante é o risco real de contaminação da população, e é bastante complexa pois envolve vários aspectos: eficiência do processo de higienização do lodo, tipo de solo, tecnologia de utilização, tipo de cultura, clima, e alterações que podem ocorrer com os microrganismos no ambiente (por exemplo, decaimento, multiplicação e latência), rotas de transmissão, presença de hospedeiros e intermediários, formas de infecção e doses infectantes, bem como exposição e sensibilidade dos hospedeiros. No âmbito agronômico, interessam ao agricultor algumas características do

lodo ligadas o seu valor fertilizante. Normalmente, o nitrogênio é tido como o nutriente mais valioso do lodo, seguido do fósforo, e do teor da matéria orgânica. O teor de potássio do lodo é muito baixo, por ser muito solúvel, perdendo-se nas águas tratadas. É importante, também, destacar os micronutrientes presentes no lodo.

Andreoli & Fernandes (1997) realizaram um trabalho enfocando os principais fatores limitantes para o uso agrícola do lodo de esgoto - metais pesados e microrganismos patogênicos presentes do lodo. O trabalho foi estruturado em núcleos temáticos visando permitir o seu desenvolvimento interdisciplinar: sanitário, ambiental, agrônômico, técnico e sócio – econômico. Os resultados mostraram que o teor de metais pesados é característico de cada lodo e região, portanto, as conclusões são aplicáveis às condições do experimento. Com relação aos microrganismos patogênicos, é necessário a desinfecção prévia do lodo visando a sua reciclagem agrícola. Salientando que, em qualquer caso, a reciclagem agrícola do lodo necessita de um plano de monitoramento ambiental e do controle de qualidade deste.

Visando avaliar os níveis de aceitabilidade dos consumidores da feira livre e dos produtores agrícolas, Andreoli et al. (1999) realizaram um trabalho tecendo comentários sobre a aceitação pública da reciclagem agrícola, fator determinante para a utilização do lodo com insumo agrícola, desenvolvido com os consumidores de feiras livres e dos produtores agrícolas da Região Metropolitana de Curitiba e Morretes, PR. De acordo com os resultados obtidos, a aceitabilidade geral por parte dos consumidores urbanos e dos produtores rurais foi de 77 % e 79%, respectivamente. Entre os fatores de rejeição por parte dos consumidores destaca-se o receio da contaminação por patógenos (53,49%). Enquanto que, dentre os fatores que levariam esses consumidores a adquirirem produtos adubados com lodo, a garantia de qualidade (75,23%) é prioritária. Ressaltando que a informação adequada aos consumidores foi um fator decisivo para a aceitabilidade do lodo. Por parte dos produtores, o principal fator de resistência foi o receio que o produto possa emitir mau cheiro (26,67%). No entanto, a comprovação da viabilidade econômica do uso do lodo é o principal fator de convencimento que influenciaria 45% dos produtores entrevistados a utilizarem o lodo. Este tipo de estudo é muito importante, pois ressalta o lado social da comunidade envolvida, ao mesmo tempo que desenvolve um trabalho de conscientização e informação da importância da reciclagem.

Dando continuidade ao estudo, um grupo de pesquisadores realizou um trabalho sobre a disposição final do lodo do Paraná, visando a implementação de um programa de reciclagem de lodo na agricultura da região. Foram avaliadas características da produção e da qualidade do lodo, o potencial agrícola e dos solos da região. Os resultados mostraram que o lodo proveniente da região analisada viabiliza sua utilização como fertilizante na agricultura, e

aproximadamente 99,5% da área agrícola do município é cultivada com espécies adequadas ao uso do lodo (Andreoli et al. 2000a).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Souza et al. (1996), que realizaram um levantamento semidetalhado das terras da Região Metropolitana de Curitiba, PR, visando à disposição de lodo de esgoto, com ênfase no relevo e no risco à erosão. Os resultados mostraram a viabilidade em realizar este tipo de estudo.

Fernandes et al. (1999) realizaram a caracterização quantitativa e qualitativa de lodos gerados por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, de quinze ETE's no norte do Paraná, no que concerne ao teor de nutrientes e metais pesados. Os resultados obtidos mostram que os lodos apresentam teores de nutrientes de interesse para a reciclagem agrícola: nitrogênio (2,37-4,32%); fósforo (0,2-1,2%); potássio (0,04-0,14) e enxofre (1,1-2,2%). Porém, os teores de cádmio (quatro ETE's) e níquel (uma ETE) foram bastante variáveis e acima do valor admissível de acordo com a Proposta Preliminar de Norma Técnica do Paraná, portanto, os lodos dessas ETE's não estão aptos à reciclagem agrícola.

Tsutiya (1999a) realizou um trabalho relatando o uso agrícola de biossólidos de ETE's de São Paulo, concluindo que o uso agrícola constitui uma alternativa mais adequada, visto que o teor de matéria orgânica é de aproximadamente 40%, contém os macronutrientes nitrogênio (2,2%), fósforo (1,5%), potássio (0,01%), cálcio (7,3%), magnésio (0,3%) e enxofre (0,5%), além de conter os micronutrientes zinco, cobre, manganês, boro, molibdênio e cloro. Para a região metropolitana de São Paulo, a presença de metais pesados é o principal aspecto poluidor, sendo necessário um controle dos efluentes industriais. No que concerne aos microrganismos presentes, os lodos foram classificados como classe B. Dentre as culturas selecionadas em função das características apresentadas pelos lodos, escolheu-se a cana-de-açúcar, por ocupar grandes áreas e não ser consumida diretamente pela população. Dando continuidade ao assunto, o autor supra citado (1999b), discorreu sobre os problemas dos metais pesados nos lodos provenientes de ETE's, relatando que, apesar das grandes variações nas concentrações dos metais nos solos, em condições naturais não têm sido observados danos às plantas e aos animais, decorrente desses elementos serem fortemente complexados por ácidos húmicos, o que reduz a solubilidade no solo, além de ressaltar, que cada metal é absorvido de modo diferente para cada cultura.

⇒ **Reflorestamento**

As áreas de reflorestamento apresentam especial interesse, uma vez que os produtos desta atividade não apresentam risco de consumo e podem receber grandes quantidades de biossólidos (Andreoli et al. 2001).

Mendonça et al. (2000) realizaram um trabalho sobre a caracterização física, química e biológica de biossólidos provenientes de um reator UASB, em São Carlos, SP. Concluíram que, com relação às características físico-químicas estudadas, verificou-se a possibilidade de usar o biossólido em solos para reflorestamento, plantas de árvores frutíferas e plantas ornamentais, ressaltando que, no caso de ser utilizado em produtos agrícolas haveria a necessidade de desinfecção prévia do biossólido, pois foi verificada a presença de protozoários e helmintos.

Stefani et al. (1999) estudaram o efeito do lodo de esgoto produzido na ETE de Barueri, na região metropolitana de São Paulo, visando seu uso em plantações florestais de rápido crescimento. Os resultados obtidos ainda são preliminares, devido ao curto período entre a aplicação do biossólido e as primeiras avaliações, porém permite-se dizer que o uso de biossólidos proporcionou maiores taxas de absorção de cálcio, magnésio, enxofre e cobre, dois meses após a aplicação. O biossólido apresentou altas concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e ferro, que são importantes nutrientes na produção florestal. Os autores ressaltaram que este estudo é pioneiro e poderá contribuir para gerar critérios para o uso deste produto em florestas plantadas.

⇒ Recuperação de áreas degradadas

A área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e à fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo e da atividade biológica; logo, a adição de biossólido apresenta várias características que favorecem a recuperação e o reaproveitamento de vegetação. São áreas de fácil localização e, com o avanço das legislações ambientais, tendem a se revelar um mercado potencial para a disposição do lodo. No entanto, a forma de aplicação e seu planejamento devem considerar o uso futuro da área como, por exemplo, agricultura, silvicultura e pastagens. O valor dessa taxa de aplicação é função da qualidade da matéria orgânica e dos nutrientes necessários ao solo analisado, para suportar a vegetação até que o ecossistema de auto-sustentação seja alcançado; a taxa de aplicação típica é de 112t/ha. Normalmente, o biossólido é aplicado e incorporado ao solo em uma única vez, após a qual a terra é semeada (Andreoli et al. 2001; Tsutiya, 2002).

Gomes et al. (2001) desenvolveram um trabalho em São Leopoldo, RS, sobre a valorização agrícola de solos com a aplicação de lodos de ETE's, dando ênfase à recuperação

destes solos, objetivando a possibilidade de retorno positivo para a atividade agrícola. Os resultados obtidos permitem mostrar que apenas 37,4% da área de 100,5km² do município são potencialmente aptas à aplicação do lodo com objetivo agrícola.

Corrêa & Melo Filho (2000) desenvolveram um trabalho sobre a sobrevivência de mudas arbóreas adubadas com composto de lixo e com lodo de esgoto em área degradada do cerrado. Foram plantadas mais de oitenta mudas, as quais foram selecionadas tendo vários estágios de desenvolvimento, com alturas variando de 5–50cm; metade das mudas foram plantadas nas covas adubadas com lodo e a outra metade nas covas adubadas com composto de lixo. A sobrevivência das mudas foi acompanhada ao final de duas estações secas (outubro-dezembro) e duas chuvosas (maio-julho), respectivamente, perfazendo um total de vinte e dois meses de acompanhamento. Os resultados obtidos para a sobrevivência das mudas dependeram da fonte da matéria orgânica, da espécie utilizada e do estágio de desenvolvimento destas. A melhor interação foi conseguida entre mudas com altura entre 20,5-30,5cm cultivadas com lodo de esgoto; mudas com menos de 10,5cm de altura não devem ir para o campo, independente da adubação utilizada. Não foi constatado qualquer efeito deletério nas plantas adubadas com composto de lixo e com lodo de esgoto, indicando que esses resíduos podem ser satisfatoriamente aproveitados em projetos de revegetação que utilizem plantas nativas de Cerrado.

Neiva (1999) realizou um estudo discorrendo sobre o programa de reciclagem dos lodos da ETE da Empresa de Proteção Ambiental (CETREL S.A.), a maior da América do Sul, em Camaçari, BA. Por suas características físicas, químicas e biológicas, os lodos podem ser utilizados como fertilizantes e condicionadores de solos em regiões que circundam a CETREL, em um raio aproximado de até 50 km. Com base no estudo, foi elaborado um código de práticas para a aplicação dos lodos na agricultura, dando enfoque preferencialmente à recuperação de áreas degradadas.

Lucchesi & Logan (1999) realizaram um estudo sobre a reciclagem de lodos de esgotos na recuperação de solos do Paraná através dos processos de compostagem e de estabilização alcalina com secagem acelerada (processo N-Viro soil), que produz o lodo classe A. Este processo foi patenteado internacionalmente como o nome de N-Viro soil e foi licenciado como corretivo agrícola, fertilizante ou condicionador de solo. Os resultados obtidos permitem dizer que os biossólidos poderiam ser reciclados em Latossolos paranaenses, devendo haver uma preferência pelo processo N-viro soil quando da estabilização dos lodos contaminados e com potencial risco de fitotoxidez.

⇒ "**Landfarming**"

Na “landfarming”, fazenda de lodo ou tratamento no solo, não há a utilização dos nutrientes e matéria orgânica do lodo para fins produtivos. Objetiva-se a biodegradação do lodo pelos microrganismos presentes no perfil arável e a retenção de metais na camada superficial do solo, que passa a ser o suporte da atividade biológica, retenção de metais, local de exposição ao sol e bioxidação, o que provocará a degradação da matéria orgânica. Como a área escolhida não tem finalidade agrícola, as taxas de aplicação de lodo são bem superiores às taxas comumente aplicadas na agricultura, mas, mesmo assim, muitos dos cuidados e restrições ambientais válidas para o uso agrícola são válidos neste caso, porém com limites diferentes. As doses de aplicação variam de 60-70t/ano/ha em base seca para as áreas sem impermeabilização da camada inferior e, 300-600t/ano/ha, quando o processo é feito dentro de critérios. Devem ser tomados alguns cuidados ambientais, pois a área receberá doses consideráveis de lodo por vários anos, devendo-se impedir que haja contaminação de águas subterrâneas por infiltração, contaminação de águas superficiais por escoamento superficial e outros impactos negativos, como odores e atração de vetores. Do ponto de vista técnico, é possível compactar ou impermeabilizar a camada de solo situada a 60 – 70cm da superfície, dotá-la de drenos, coletar integralmente os percolados e depois tratá-los. Neste caso as restrições de contaminação do subsolo com nitratos e outros compostos são eliminados, o que permite aumentar as taxas de aplicação do lodo. Quando esta alternativa técnica não é empregada, as taxas de aplicação serão menores e será necessário maior controle da qualidade das águas subterrâneas (Lara et al. 2001; Ferreira et al. 1999; SANEPAR, 1997).

Assim que o lodo é espalhado sobre o solo, ele deve ser incorporado superficialmente para facilitar os processos de biodegradação e minimizar o problema de odor e eventual atração de moscas. É uma alternativa de baixo custo se bem instalada e monitorada, é inócua ao meio ambiente e de simples execução. Não há preocupação em reciclar os nutrientes do lodo, apenas decompor a matéria orgânica no solo. É considerada como uma boa alternativa para um plano de emergência (Ferreira et al. 1999; SANEPAR, 1997).

Embora na maioria das áreas o solo seja mantido livre de qualquer vegetação, com revolvimento constante para facilitar a aeração, é possível a concepção de áreas de “landfarming” vegetadas; as espécies a serem plantadas têm apenas a função de aumentar a evapotranspiração da área e imobilizar nutrientes. No Brasil, esta alternativa tem sido usada, em alguns casos, para resíduos industriais e as informações disponíveis são escassas: a Petrobrás opera uma área em Araucária, PR. Especificamente para lodos de esgotos, não há uma experiência consolidada no Brasil. No projeto deve-se incluir, também, um plano de

monitoramento ambiental, um de emergência e um de encerramento, e não dever ser permitido o uso agrícola da área (Lara et al. 2001).

⇒ *Aterro sanitário*

O lodo é confinado em células previamente impermeabilizadas e recoberto com terra. A ausência de oxigênio leva à biodegradação anaeróbia, o que implica em menor velocidade de degradação da matéria orgânica e produção de metano. Neste caso, não há qualquer preocupação em se recuperar nutrientes ou se utilizar o lodo para qualquer finalidade útil. É uma alternativa que requer cuidadosos estudos de implantação, necessitando de dispositivos de controle ambiental avançados. O lodo, uma vez disposto no aterro, deve ser recoberto no mesmo dia, para evitar problema de odores, atração de insetos, pássaros, etc. Os aterros produzem líquidos percolados (chorumes), seja devido ao excesso de água do lodo, ou devido à infiltração da água da chuva. Caso este percolado atinja o lençol freático, ele pode carrear metais pesados e contaminantes orgânicos, por exemplo. No caso de atingir as águas superficiais, a contaminação também pode incluir nutrientes, o que provoca eutrofização das águas. Os gases resultantes da biodegradação também devem ser drenados de dentro do aterro e depois queimados ou liberados na atmosfera (Ferreira et al. 1999; SANEPAR, 1997).

A exigência de área para a instalação de aterros sanitários é grande. Por exemplo, uma cidade gerando 25t/dia de lodo em base seca (300.000-500.000 habitantes), dependendo da tecnologia de aterro utilizada, necessitará de 2 a 20ha/ano para dispor seu lodo. Durante seu funcionamento, o aterro deve ter um programa de monitoramento ambiental, que deve prosseguir, inclusive, após o encerramento da vida útil do aterro, já que os percolados e os gases continuarão a ser produzidos por mais de vinte anos após sua desativação. A área, após o encerramento, pode ser utilizada para várias finalidades como parques, campos de tênis e áreas de lazer (Ludovice & Fernandes, 2001).

⇒ *Incineração*

A incineração é o processo de estabilização de lodo que propicia a maior redução no volume para disposição final; o volume de cinzas residual é normalmente inferior a 4% do volume do lodo desaguado alimentado ao incinerador. A incineração de lodo implica na destruição das substâncias orgânicas presentes no lodo. Através de combustão, obtida na presença de excesso de oxigênio, toda a matéria orgânica é destruída, incluindo os microrganismos patogênicos. Os produtos da combustão completa do lodo são vapor de água,

dióxido de carbono, dióxido de enxofre e cinza inerte. Atualmente, os incineradores utilizam sistemas sofisticados de filtros que reduzem significativamente a emissão de poluentes para a atmosfera. O processo requer cuidados operacionais sofisticados, mostrando-se mais adequada a grandes centros ou em situações onde a qualidade do lodo impede sua reciclagem agrícola, geralmente relacionado ao seu conteúdo de metais pesados. É uma alternativa de custo elevado por tonelada tratada, além de gerar cinzas que necessitam de destinação final (Luduvic & Fernandes, 2001; Ferreira et al. 1999; SANEPAR, 1997).

Nos países membros da União Européia, a participação da incineração como alternativa de tratamento de lodo de esgoto deverá subir de 10%, em 1985, para 35%, em 2005. Esta tendência é um fenômeno mundial, atingindo seu patamar máximo no Japão, onde 60% do lodo produzido são incinerados. Este crescimento está associado a uma redução na utilização de aterros sanitários como destino final do lodo, devido ao aumento na competição por espaço em aterros, aumento no preço da tonelada disposta, legislação restritiva e incentivo à reciclagem agrícola (Luduvic & Fernandes, 2001).

Vários autores não consideram a incineração como uma prática de disposição final, uma vez que o processo gera como resíduo, cinzas, que devem ser dispostas adequadamente, geralmente em aterros.

3.4 Legislação e Normas Brasileiras

O grande impulso para a coleta de esgotos sanitários no Brasil ocorreu na segunda década do Plano Nacional de Saneamento/PLANASA (1968 – 1984), uma vez atendida a demanda prioritária dos primeiros dez anos, focalizada no abastecimento ou na melhoria dos serviços de água potável em todas as cidades brasileiras. Só recentemente presencia-se no país a entrada em operação de um número mais significativo de estações de tratamento de esgotos, decorrente das necessidades sociais de melhoria das condições de saúde e da preservação ambiental. Desta forma, há uma forte tendência de crescimento da produção de lodo no Brasil, que exige a definição de alternativas adequadas de disposição final, sem a qual, grande parte dos benefícios esperados pelos sistemas de saneamento fica comprometida. Com este cenário compreende-se porque agora as atenções do meio técnico estão voltados para tecnologias de disposição adequada dos lodos do tratamento, dentre as quais sobressai, como prática mundialmente aceita, o uso agrícola dos biossólidos das estações de tratamento de esgotos (Santos, 2001).

O Estado de São Paulo possui norma estabelecida pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), regulamentando a aplicação ao solo de resíduos dos

tratamentos biológicos, desde 4/12/1999. Como a lei brasileira é clara de que o registro e fiscalização dos fertilizantes, corretivos e condicionadores de solo, inclusive no tocante à saúde pública e proteção ao ambiente, é uma atividade de responsabilidade do Ministério da Agricultura, nos termos do Decreto Lei 82.955/82, fica claro um ponto de conflito entre a legislação federal e as normas da CETESB, visto ser ilegal a dupla fiscalização. Desta forma, quando um bio sólido atender aos padrões de qualidade e for devidamente registrado, será aplicável a legislação federal, enquanto que as normas CETESB restringem-se aos resíduos de tratamento biológico não enquadráveis na legislação federal. Por outro lado, não existe ainda uma legislação federal brasileira para o uso de bio sólidos na agricultura. O Ministério da Agricultura e Abastecimento, que é o órgão federal responsável pela legislação, a qual é específica para fertilizantes minerais, orgânicos, corretivos e inoculantes, sendo omissa no referente aos bio sólidos, tanto com respeito à presença de metais pesados como a agentes patogênicos. Para suprir esta falha, o Ministério da Agricultura e Abastecimento está promovendo uma revisão da legislação visando atender não apenas as exigências internas do país como o mercado internacional, exigente na qualidade dos produtos agrícolas (Carvalho & Carvalho, 2002).

O Estado do Paraná tem uma proposta de normatização sendo examinada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP). O bio sólido das estações de Brasília é utilizado para recuperação de áreas degradadas e para diversos usos agrícolas, sob as recomendações de um texto explicativo de suas propriedades e de como deve ser manejado e aplicado (Santos, 2001).

3.5 Efeito da Aplicação do Lodo de Esgoto em Diferentes Culturas

As propriedades do lodo de esgoto são semelhantes a outros produtos orgânicos usados normalmente na agricultura, como, por exemplo: esterco suíno, bovino e avícola. Portanto, em termos de resultados agrônômicos, o lodo poderia ser aplicado à maioria das culturas, porém, algumas culturas se prestam mais que outras para o uso do lodo, seja por aproveitarem melhor sua composição química e liberação lenta do nitrogênio, seja por eliminarem os riscos associados à reciclagem de resíduos animais, principalmente com relação aos patógenos. Desta forma, por precaução, a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) veta o uso do lodo (mesmo higienizado) para horticultura e demais produtos consumidos crus que tenham contato direto com o lodo. O milho e as gramíneas de modo geral (trigo, aveia e sorgo), pelas suas características, são as culturas 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 (SANEPAR, 1997).

Em um trabalho realizado por Tsutiya (2001), sobre a qualidade de biossólidos (processo de lodo ativado), produzidos em ETE's da Região Metropolitana de São Paulo, que abrange Barueri, Suzano, Parque Novo, ABC e São Miguel, concluiu que os biossólidos podem ser utilizados na agricultura visto que atendem aos requisitos de qualidade para o uso agrícola, no que concerne aos metais pesados e microrganismos patogênicos além de possuir valor agrônômico. Apresentando cerca de 40% de matéria orgânica, o que possibilita a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, em algumas ETE's este teor alcançou cerca de 65 e 70%. Com relação aos nutrientes, o teor de nitrogênio variou de 2,2 a 5,5%; fósforo, de 1,0 a 3,7%; potássio, de 0,01 a 0,35%; cálcio, de 1,5 a 16% e magnésio, de 0,2 a 0,6%.

Na literatura, vários trabalhos abordam o efeito do lodo de esgoto no desenvolvimento e produtividade de diferentes culturas, bem como nas características químicas e biológicas do solo.

Blanco et al. (2002) conduziram uma pesquisa avaliando as propriedades agrônômicas de lodos de lagoas provenientes de um leito de secagem, em Maracaibo, Venezuela, no desenvolvimento da cultura do feijão preto. Foram realizados três experimentos: E1, com 30% do lodo; E2, com 30% de fertilizante orgânico (100% natural) e E3, usando o solo, como testemunha. As variáveis avaliadas foram diâmetro caulinar, altura de planta, número de folhas e teores de metais pesados nos frutos. Com relação ao diâmetro caulinar e altura de planta, os melhores resultados foram apresentados para as plantas que receberam lodo; para o número de folhas e o teor dos metais pesados nos frutos, a incorporação do lodo não teve influência; neste último, caso E1 e E2 não diferiram estatisticamente. Os autores concluíram que é possível o uso agrícola deste tipo de lodo.

Tamiso et al. (2001) realizaram um trabalho em estufa na Estação Experimental do Instituto Agrônômico de Campinas, São Paulo, intitulado "Efeitos do lodo de esgoto sobre o solo e o desenvolvimento da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.)", utilizando dois cultivares: um de folha lisa e outro de folha crespa. Foram avaliados massa de matéria fresca da parte aérea, número de folhas por planta e diâmetro das cabeças. Os efeitos das doses (0, 10 e 20 t/ha) foram avaliados por regressão polinomial. Os resultados obtidos mostraram que o aumento das doses promoveu resposta positiva em todos os parâmetros analisados. Nas análises de solo, realizadas para se verificar o efeito residual do lodo de esgoto na cultura em questão, observou-se três meses, após a colheita, um aumento nos valores de pH, magnésio, ferro e saturação por bases, correspondentes ao incremento das doses de adubo. Os teores de

boro decresceram devido à sua menor disponibilidade, causado pelo aumento de pH. Nove meses após a colheita, houve um aumento nos níveis de zinco no solo, mostrando uma liberação lenta deste nutriente. Também houve aumento nos teores de boro correspondentes ao aumento das doses de lodo; o valor inferior de pH pode ter disponibilizado este micronutriente.

Silva (2001) desenvolveu um trabalho em casa de vegetação, utilizando lodo (seco ao ar) de lagoa de estabilização localizada no Município de Urânia, SP, na cultura de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Concluiu que o lodo mostrou eficiência quanto à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ao mesmo tempo em que os nutrientes presentes na sua constituição tornaram-se disponíveis para as plantas, promovendo aumento na produção de matéria seca.

Costa et al. (2001) desenvolveram um trabalho utilizando lodo (bruto e calado), proveniente da lagoa anaeróbia da ETE do Conjunto Habitacional de Eldorado, localizado no Município da Serra, na região da Grande Vitória, ES, como fonte de matéria orgânica e nutrientes para a cultura do mamoeiro. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com nove tratamentos em três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas diferentes doses de matéria orgânica nas parcelas experimentais. Concluíram que o uso do lodo como fonte de matéria orgânica na cultura do mamoeiro apresentou respostas significativas no aumento da produtividade, com destaque para o lodo calado, apesar da adição de cal virgem ao lodo ter promovido uma redução nos teores de nitrogênio e fósforo.

Pigozzo et al. (2001) avaliaram, em casa de vegetação, a aplicação de biossólidos como fonte de micronutrientes no Latossolo Vermelho Escuro para a cultura do milho safrinha (*Zea mays* L.). Os tratamentos consistiram de uma dose (38t/ha) de resíduos de rerrefino (obtidos do processo industrial de óleos lubrificantes de Maringá, PR) e de lodo de esgotos (coletado nas ETE de Curitiba e Maringá-PR), ambos neutralizados com uma mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio (3:1), objetivando evitar a proliferação de microrganismos dos lodos e evitar a acidez decorrente do processo de rerrefino. O corte das plantas de milho foi realizado no trigésimo dia da semeadura. A produção de matéria seca foi maior no solo tratado com o lodo de esgoto de Curitiba, além de ser este o que mais disponibilizou nitrogênio no solo, atingindo a relação C:N mais próxima do equilíbrio (10:1). Enquanto que nos tratamentos que utilizaram rerrefino forneceram a maior relação C/N, o que parece ter inibido a produção da parte aérea das plantas. Os dois lodos utilizados foram os que deram melhores condições de fertilidade ao solo e mostraram potencialidades como fonte de nutrientes para a cultura do milho. Quanto à absorção de nutrientes, verificou-se que, para os

tratamentos que utilizaram lodo, as concentrações de cobre, manganês, ferro e zinco foram mais elevadas do que o tratamento testemunha.

Fernandes et al. (2001) realizaram um trabalho sobre a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da Região Metropolitana de Curitiba, PR, e concluíram que até fevereiro de 2001 foram recicladas na agricultura mais 6.000 toneladas de lodo calado, com predominância para a cultura do milho (94%), seguido de fruticultura (4%) e produção de grama (2%). Os autores citam que os agricultores já observaram resultados surpreendentes com o uso do lodo, observando-se um aumento na produtividade do milho, que variou de 30 a 70%, o que motivou o interesse de grande número de proprietários.

Silva et al. (2001b), em trabalho semelhante, avaliaram as características físico-químicas de biossólidos provenientes de ETE's de Recife e Cabo de Santo Agostinho, PE, visando propor alternativas de tratamento para disposição final apropriada e aproveitamento do valor econômico e agrônômico.

Melo et al. (2000) realizaram um estudo com a finalidade de avaliar o uso agrícola de biossólido, proveniente da ETE de Barueri-SP, na cultura do milho (*Zea mays L.*), por dois anos consecutivos, utilizando dois tipos de solos de grande ocorrência no Estado de São Paulo. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, constituído por quatro tratamentos (testemunha – sem aplicação de fertilizantes no primeiro ano e com aplicação de fertilizantes minerais no segundo ano; 2,5; 5,0 e 10,0Mg/ha) e cinco repetições, perfazendo um total de vinte parcelas. De maneira geral, concluíram que a aplicação de biossólido por dois anos consecutivos causou aumento no pH, nos teores de fósforo e cálcio, na capacidade de troca de cátions e na saturação por bases, ao mesmo tempo em que causou diminuição na acidez potencial. A dose mais elevada (10,0Mg/ha) causou aumento na produtividade do milho, em relação à fertilização mineral, no Latossolo Roxo, mas não no Latossolo Vermelho-escuro, textura média, no qual uma dose de 2,5Mg/ha de biossólido resultou na mesma produtividade que a fertilização mineral. Os teores de matéria orgânica e de magnésio não foram afetados pelas aplicações sucessivas nas doses de biossólidos utilizadas, o que pode ser justificada pelas baixas doses de biossólido aplicadas. Os autores reportam que Melo et al. (1994) observaram aumento do teor de matéria orgânica para um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar.

A adição de biossólido afetou de modo significativo o teor de fósforo nos dois solos e nos dois anos agrícolas estudados: no Latossolo Roxo, no primeiro ano, houve tendência de aumento para a dose mais elevada de biossólido, enquanto no segundo houve uma tendência de estabilização; esta diferença de comportamento pode ser explicada por uma menor mineralização do biossólido no segundo ano ou por uma maior imobilização do fósforo no

segundo ano; no Latossolo Vermelho-escuro, o efeito das doses sobre o teor deste elemento foi muito pequeno no primeiro ano, detectando-se diferença significativa apenas entre as doses de 2,5 e 5,0 Mg/ha, enquanto que no segundo ano o efeito foi notável, com tendência de estabilização na dose mais elevada. Todavia, o estudo mostrou o grande potencial do bio sólido como fonte de nutriente para as culturas.

Krohling et al. (2000) realizaram um trabalho com mudas de café (*Coffea arabica L.*) utilizando o lodo proveniente da lagoa anaeróbia de Vitória, ES, acima citada. O lodo calado a 50% foi utilizado em quatro dosagens (30, 40, 50 e 60%), na presença e ausência de adubação complementar de potássio (0, 5 e 1,0kg/m³). De forma geral, pode-se dizer que, maior aumento em matéria seca (da parte aérea, do sistema radicular e total) foi obtido na dosagem de 30% do lodo na composição do substrato sem a complementação do potássio. Não foram observados efeitos significativos para os substratos que receberam a complementação, podendo-se concluir que as quantidades de potássio presentes no lodo foram suficientes para suprir as exigências das mudas, de acordo com as condições de alcalinidade que os substratos apresentaram. A diminuição dos teores de micronutrientes dos substratos que receberam as maiores dosagens de lodo, pode ser atribuída à elevação do pH, decorrente do processo de calagem do lodo. Os autores citam que, segundo Mashchner (1986), a alcalinidade do meio é uma das condições que interfere na disponibilidade dos micronutrientes, .

Teles et al. (1999) realizaram um trabalho sobre a utilização do lodo de uma lagoa anaeróbia no município de Serra, região metropolitana de Vitória, ES, para fertilização de substratos usados na produção de mudas de Tamboril (*Enterolobium contortisiquum Vell. Morong.*) em fase de viveiros, visando a recuperação de áreas degradadas e o reflorestamento de mata ciliar. O lodo foi utilizado nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% e, anteriormente, submetido aos processos de higienização – calagem a 50% do peso seco e pasteurização a 70°C por 30 minutos. Os dois processos mostraram-se eficientes em reduzir o número de helmintos e coliformes fecais quando comparados aos valores obtidos para a amostra bruta. A concentração de 25% do lodo calado foi a que apresentou o melhor resultado; para o lodo pasteurizado, o comportamento das mudas foi diferenciado; todos os tratamentos apresentaram um desenvolvimento superior ao obtido pela testemunha, destacando-se na sequência de 100, 75 e 50%. Os autores comentam que a utilização do lodo excedente proveniente das estações de tratamento de esgotos como fonte de matéria orgânica e nutrientes pode se constituir em valiosa ferramenta para a recuperação da cobertura vegetal de diversas regiões degradadas nas proximidades dos grandes centros urbanos.

Salles & Deschamps (1999) realizaram um trabalho avaliando o efeito imediato do lodo de esgotos como fertilizante orgânico na cultura da macieira (*Malus domestica*), através

da determinação dos teores dos seguintes metais pesados nos frutos: cádmio, cobre, níquel, zinco, chumbo e cromo. As concentrações de lodo variaram de 0, 25, 50, 75 e 100% em relação à adubação mineral nitrogenada recomendada, complementadas com adubação mineral. Os resultados obtidos mostraram que os resíduos de metais pesados detectados nos frutos foram considerados estatisticamente iguais à testemunha. Ressaltaram que as análises foram realizadas na primeira safra após a aplicação, levando em consideração apenas o efeito imediato, havendo necessidade da continuidade do trabalho para avaliar o efeito residual da absorção de metais, bem como os efeitos relacionados aos parâmetros de produtividade da cultura, por se tratar de plantas perenes.

Os autores citam que:

* Solo'ev & Khomyakov (1989), em um trabalho semelhante, observaram que a aplicação de 300t/ha de lodo de esgoto em base seca apresentou uma redução da acidificação do solo, acúmulo de nutrientes no solo e alta produção de biomassa em árvores jovens de maçã, ressaltando que o acúmulo de metais pesados no solo e nas plantas atingiu quantidades acima das concentrações máximas permitidas.

* Utkhede & Smith (1993) verificaram que o tratamento com maior dosagem de lodo foi eficiente no controle da podridão de colo e raiz em árvores jovens de maçã, apesar de ter sido tóxico para a cultura devido à alta concentração de metais pesados, o contrário ocorrendo para a menor dosagem de lodo aplicada, que não controlou a doença.

* Korcak (1995), em um trabalho com maçãs, observou que a germinação das sementes não foi afetada pelos tratamentos utilizando lodo, porém o tratamento que apresentou teores elevados de metais pesados proporcionou um desenvolvimento mais lento das plântulas.

Silva et al. (1998) realizaram um trabalho avaliando o uso de lodo de esgoto na adubação soqueira (2° corte) de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*, var. RB72-454), nas concentrações de 0, 15 e 30kg/ha em peso úmido, sem ou com adubação complementar. Os resultados obtidos através da análise química do solo mostraram que o lodo atuou como fonte de fósforo, enxofre, cálcio, cobre, boro e zinco, visto que aumentou os teores encontrados destes nutrientes no solo. Para o magnésio e o potássio, foi observado decréscimo nos teores trocáveis destes nutrientes no solo. A adubação complementar de nitrogênio, fósforo e potássio não alterou o teor solúvel de fósforo e aumentou o de potássio no solo. Com relação aos teores de metais pesados, pode-se dizer que, em geral, decresceram com o decorrer do tempo para as amostras de solo coletadas aos 144 e 400 dias após a aplicação do lodo, o que corrobora com os resultados de solubilidade dos metais pesados no solo no tempo, obtidos por Brams & Anthony (1988). Com relação à produtividade da biomassa de colmos de soqueira,

foi observado ganho com o uso do lodo sem prejuízo de sua qualidade tecnológica (sacarose e açúcar recuperável na indústria), o que proporcionou aumento da produtividade de açúcar por área, e podem ser explicados considerando a alteração da fertilidade do solo proporcionada pelo lodo, que agiu como corretivo da acidez e fonte de nutrientes, principalmente fósforo, enxofre, cálcio, cobre e zinco.

Deschamps & Favaretto (1997) avaliaram o efeito da aplicação do lodo de esgoto nas culturas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) e girassol (*Helianthus annuus* L.), complementado com fertilizantes minerais em cinco tratamentos: T1 (100% solo), T2 (fertilização mineral recomendada), T3 (lodo calado para suprir 100% do N recomendado e complementação mineral de P₂O₅ e K₂O), T4 (lodo calado para suprir 75% do N recomendado e complementação mineral de P₂O₅ e K₂O) e T5 (lodo calado para suprir 50% do N recomendado e complementação mineral de P₂O₅ e K₂O). A recomendação de fertilização mineral foi baseada na análise química do solo. Os resultados obtidos para a produtividade na cultura do girassol mostraram que o lodo pode ser utilizado como fonte de adubação orgânica, substituindo em 100% a quantidade de nitrogênio recomendado, sem prejuízo em termos de rendimento quando comparado à adubação mineral. Na cultura do feijoeiro, embora não tenha sido verificada diferença estatística entre os tratamentos, verificou-se uma tendência de aumento na produtividade com a utilização da adubação mineral e com a redução da quantidade de lodo aplicado. Os autores citam trabalhos de:

* Lourenço et al. (1995) realizaram um experimento para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) e milho (*Zea mays* L.) e observaram aumento de produtividade com a utilização de doses crescentes de lodo até o máximo de 52,5 t/ha (umidade de 85%); a partir desta dosagem, as médias de produtividade começaram a diminuir, e que o lodo de esgoto, dependendo da dose utilizada pode apresentar efeito residual para as culturas subseqüentes.

* Radwan (1991) realizou um experimento conduzido em vasos avaliando o desenvolvimento da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) utilizando diferentes concentrações de lodo de esgoto. Os resultados obtidos mostraram que quando o lodo apresentava mais do que 40% do peso do substrato houve um aumento de massa seca de plantas, número e peso de 100 sementes.

* Christodoulakis & Margaris (1996) realizaram um experimento conduzido em vasos sobre a cultura de girassol (*Helianthus annuus* L.), onde compararam tratamentos sem adubação, com adubação mineral recomendada e com lodo de esgoto na proporção de 10 e 50% do volume em combinação com o substrato (areia). Os resultados obtidos mostraram um crescimento superior das plantas submetidas ao tratamento com lodo de esgoto quando

comparados aos outros tratamentos; bem como obteve-se aumento de área foliar de até 150% em tratamento com lodo e de 75% com adubação mineral em relação à testemunha.

* Sergienko & Mosienko (1991) realizaram um experimento em campo onde observaram a resposta da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) à aplicação do lodo de esgoto. Os resultados mostraram que houve aumento da produtividade e da fertilidade do solo com a aplicação do lodo.

É importante ressaltar que, apesar de observado aumento da produtividade com a utilização do lodo de esgoto nas culturas, a dosagem varia em função da exigência nutricional da espécie vegetal e das características do lodo de esgoto em questão.

Favaretto et al. (1997a) estudaram o efeito residual da aplicação de lodo de esgoto calado no desenvolvimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). No primeiro ano de estudo, o lodo calado foi incorporado ao solo (32, 64 e 96 t/ha, base úmida), juntamente com os fertilizantes minerais, enquanto no segundo ano apenas os fertilizantes minerais foram aplicados. Os resultados obtidos permitem dizer que a fertilização mineral proporcionou maior produção de grãos, no entanto, não foram observadas diferenças significativas entre o fertilizante mineral e o lodo de esgoto nas três dosagens aplicadas. De acordo com os autores, a fertilização orgânica com lodo de esgoto a partir da menor dosagem pode substituir a fertilização mineral recomendada no que concerne a produtividade do milho. Com relação ao crescimento vegetativo, as maiores médias foram alcançadas nos tratamentos que utilizaram o lodo. Quando da análise do segundo ano, os estudos mostraram que houve efeito residual da utilização do lodo de esgoto aplicado no ano anterior.

Morais et al. (1996) realizaram um trabalho no Viveiro Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, RS, objetivando comparar o uso do lodo de esgoto com diferentes substratos orgânicos na produção de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), na fase de viveiro, em quatro tratamentos: T1 (100 % solo), T2 (70% solo + 30% acícula decomposta de *Pinus* sp.), T3 (70% do solo + 30% de lodo de esgoto gerado na Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN) e T4 (70% solo + 30% de esterco bovino). Os resultados obtidos mostraram que a eficiência do lodo é equivalente e superior aos determinados substratos orgânicos em diâmetro e altura das mudas. Com relação ao crescimento em diâmetro do colo e altura total para as mudas, melhor crescimento foi obtido para o tratamento 3, seguida do tratamento 4. Em relação à produção de matéria seca, os maiores ganhos foram para os tratamentos T4 (14g) e T3 (12g). Portanto, conclui-se que o uso do lodo na forma sólida durante a fase de viveiro é uma alternativa viável como fonte de matéria orgânica em mudas de cedro e deve ser pesquisado com mais frequência no meio florestal e agrícola para que novas alternativas possam ser utilizadas e indicadas.

Melo et al. (1994) realizaram um trabalho em campo avaliando os efeitos das doses de lodo de esgoto, seco ao ar, sobre o carbono orgânico total e as frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina, em um solo cultivado com cana-de-açúcar no viveiro experimental da Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba (COPLANA), em Guariba, SP. Os tratamentos utilizados foram: T1 (testemunha), T2 (fertilização mineral), T3, T4 T5 e T6 (com 4, 8, 16 e 32 t/ha de lodo de esgoto), respectivamente. Os tratamentos que receberam o lodo receberam suplementação de potássio (KCl, 60% de K₂O), objetivando igualar o teor deste elemento ao do tratamento com fertilização mineral. Antes da instalação do experimento, a área foi submetida à calagem com aplicação 2,5 t/ha de calcário dolomítico. Os resultados obtidos permitem dizer que o lodo de esgoto na dosagem mais elevada proporcionou aumento significativo no teor de carbono orgânico e na capacidade de troca de cátions, sendo, na maioria das épocas de amostragem, mais eficiente que a fertilização mineral. Entre as frações orgânicas, a humina foi predominante na matéria orgânica do solo, seguida das frações ácido fúlvico e ácido húmico.

Ros et al. (1993) estudaram o efeito imediato de diferentes doses de lodo (20, 40, 80 e 160 t/ha), sobre o rendimento de matéria seca e a absorção de N, P₂O₅ e K₂O no milheto (*Pennisetum americanum*), bem como seu efeito residual na associação da aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) e em algumas características do solo. O lodo utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgotos da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), em Santa Maria, RS. Antes da instalação do experimento, a área foi submetida a calagem com aplicação 2,8 t/ha de calcário. Os resultados obtidos permitem afirmar que à aplicação das doses crescentes de lodo aumentou significativamente o rendimento de matéria seca, tanto do milheto (efeito imediato) quanto da associação aveia-ervilhaça (efeito residual). O lodo aumentou, ainda, o rendimento de grãos de aveia, a absorção de N, P₂O₅ e K₂O pelas plantas de milheto e o teor de N-total e fósforo disponíveis no solo. Os resultados obtidos também permitem evidenciar a necessidade de suplementação mineral de potássio quando do uso do lodo como fertilizante.

Berton et al. (1989) conduziram um trabalho, em casa de vegetação, avaliando as alterações nas propriedades químicas e na disponibilidade de alguns macros e micronutrientes resultantes da incorporação de lodo de esgoto a cinco solos do Estado de São Paulo, na cultura do milho (*Zea mays* L). O lodo digerido foi seco ao ar e incorporado nas doses de 40 e 80 t/ha. A parte aérea do milho foi cortada a 1cm do solo, 45 dias após a emergência. Os resultados obtidos permitem confirmar que a incorporação do lodo, em todos os solos analisados, proporcionou aumentos do pH, na produção de matéria seca e na absorção de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e zinco; para o cobre, o aumento foi verificado apenas

para o tratamento que utilizou 40t/ha. A baixa concentração de potássio no solo, associado à sua pequena absorção pelas plantas em alguns solos, sugere a necessidade de complementá-lo pela adição de fertilizante mineral em solos que apresentam baixos teores de potássio trocável. A aplicação do lodo na dosagem mais alta proporcionou teores de zinco e cobre considerados elevados, que ocasionou aumento na absorção desses elementos, porém não a ponto de causar redução na produção de matéria seca da parte aérea do milho.

Bettiol et al. (1983) desenvolveram um trabalho avaliando a potencialidade do lodo de esgoto e de um fertilizante organo-mineral IPT como fontes de nutrientes para as culturas do arroz (*Oryza sativa* L) e do milho (*Zea mays* L). O fertilizante organo-mineral foi desenvolvido pelo Centro de Estudo de Fertilizantes do Instituto de Pesquisa Tecnológica (CEFER/IPT), sendo uma mistura de lodo de esgoto com fertilizantes químicos, visando sua utilização na agricultura. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do CEFER/IPT, em São Paulo, solo arenoso, com os tratamentos: T1 (testemunha), T2 (fertilização recomendada para a cultura), T3 (9t/ha de lodo de esgoto primário), T4 (fertilizante organo-mineral com 9t/ha de lodo de esgoto), T5 (fertilizante organo-mineral com 6t/ha de lodo de esgoto) e T6 (fertilizante organo-mineral com 3t/ha de lodo de esgoto); todos receberam calagem de 1,5t/ha. O trabalho com arroz foi encerrado com 45 dias, determinando-se o peso total. Os resultados obtidos permitem concluir que todos os tratamentos diferiram da testemunha, sendo que não houve diferença significativa entre os tratamentos T2, T3 e o T4; a produção em massa seca para o tratamento T2 foi superior ao T5 e T6. Para o milho, o trabalho foi concluído aos 35 dias determinando-se o peso seco do sistema radicular e da parte aérea; os resultados mostraram que não houve diferença entre a produção de massa seca alcançada para o T2, T3, T4 e T5, sendo que o T5 e o T6 não diferiram da testemunha. Para a produção de massa seca, cabe ressaltar que as maiores dosagens de lodo de esgoto, mesmo não diferindo estatisticamente, foram superiores ao valor obtido pelo T2; observa-se, ainda, que esta tendência à maior produção de massa seca é devido ao melhor desenvolvimento do sistema radicular obtido no T3, o que pode ser explicado pelo efeito da matéria orgânica sobre as propriedades físico-químicas do solo. Evidenciando que o lodo de esgoto pode ser utilizado como fonte de nutrientes para as culturas analisadas, esses resultados corroboram com os obtidos por Giordano & Mays (1981) e Day et al. (1982).

3.6 Culturas Utilizadas no Trabalho

3.6.1 Algodão

Na literatura, são raros os relatos da utilização do lodo de esgoto para a cultura do algodão, mas, sabendo-se de sua importância histórica, social e econômica para a Região Nordeste e, também, por ser uma cultura industrial, foi que se optou escolhê-la. Recentemente, Pedroza (2002) desenvolveu um trabalho utilizando lodo de esgoto na cultura do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *Latifolium* Hutch).

O Brasil sempre foi um tradicional produtor de algodão, produzindo o que necessitava e exportando o excedente. Porém, nos últimos anos houve queda acentuada de área de plantio e de produção, sendo atualmente o 2º maior importador de algodão do mundo, importando, anualmente, cerca de 300.000t de pluma. Existe, no entanto, expectativa de retomada do crescimento da produção porque a cotonicultura brasileira está se modernizando e passando a funcionar em bases empresariais, aumentando sua competitividade, esperando-se, com isto, um aumento significativo do volume de produção nos próximos anos. O processo produtivo está direcionado para as regiões do Cerrado do Centro-Oeste, de Minas Gerais e do Nordeste e para as áreas planas e irrigáveis destas regiões, por grupos empresariais. Essas regiões apresentam grande potencial para crescimento da cotonicultura, além de produzir algodão de boa qualidade. Apesar de ter havido redução da área com o algodoeiro, nos últimos anos, no Nordeste, esta região apresenta potencialidade de expansão com a cultura, em várias áreas, tais como a produção irrigada via agricultura familiar com maior nível tecnológico, produção de sequeiro por produtores familiares, irrigação em áreas potenciais por grandes grupos empresariais e a exploração na região dos Cerrados do Piauí, Maranhão e Bahia (EMBRAPA/Algodão, 2001).

O desenvolvimento da cultura do algodão no Brasil está intimamente relacionado com os trabalhos de melhoramento genético desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), decisivos no início do século passado e importantes até os dias atuais, sendo as cultivares desta instituição difundidas em todo o Brasil. Outras instituições estaduais de pesquisa também têm trabalhado com o algodoeiro e contribuído com a criação de cultivares para plantio nos respectivos Estados. A região Nordeste, após a criação, em 25 de setembro de 1975, do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPA), atualmente conhecido como Embrapa - Algodão, passou a ser assistida pelos trabalhos de melhoramento desenvolvidos nesta instituição, os quais têm sido também importantes para o desenvolvimento da cotonicultura na região (Beltrão, 1999). No âmbito destes trabalhos de melhoramentos genéticos, surgiu o algodão colorido (marrom e verde).

O algodão de fibra colorida é quase tão antigo quanto o de fibra branca, de acordo com amostras encontradas em escavações do Peru, que remontam a 2.500 a.C.; as de algodão branco originárias do Pasquistão datam de 2.700 a. C. A maioria dos algodões silvestres

possui fibra colorida marrom em várias tonalidades, embora não possuam fibra fiável. A fibra e o línter dos algodões tetraplóides ocorrem em cores que vão do branco a várias tonalidades de marrom e verde; estes mutantes têm sido usados em programas de melhoramento visando obtenção de cultivares de fibra colorida; as cores mais comuns são o verde e o marrom. (Carvalho & Santos, 2003).

No Brasil, foram coletadas plantas de algodoeiros asselvajados, nas tonalidades creme e marrom, em misturas com algodoeiros brancos cultivados, das espécies *G. barbadense* L. e *G. hirsutum* L. raça marie galante Hutch, conhecidos como algodões arbóreos. Estes algodões coloridos sempre foram considerados como misturas indesejáveis pelos industriais, tendo uso apenas artesanal ou ornamental, principalmente nos Estados da Bahia e Minas Gerais. Estes algodoeiros foram preservados em bancos de germoplasma da Embrapa Algodão, em Patos-PB, desde 1984. A partir de 1989, foi iniciado o trabalho de melhoramento genético, após uma visita de empresários têxteis japoneses, que demonstraram interesse em adquirir este tipo de fibra (EMBRAPA/Algodão, 2001).

Em 1997, iniciou-se um programa de melhoramento com o objetivo de produzir cultivares de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* (Hutch)), de fibra colorida e boa qualidade tecnológica. Para isso, três cultivares de fibra branca já adaptadas à região Nordeste do Brasil (CNPA 7H, CNPA Precoce 3 e CNPA Precoce 2), e com características de fibra de bom padrão tecnológico, foram cruzadas com materiais exóticos de *G. hirsutum*, sendo um de fibra verde, Arkansas Green, portador do mutante dominante Lg para cor verde, e outro portador de um gene para cor marrom. Os cruzamentos CNPA 7H x Marrom; CNPA Precoce 3 x Marrom e CNPA Precoce 2 x Arkansas Green foram realizados em casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão. A população resultante desses retrocruzamentos foi submetida à seleção genealógica cujo principal critério foi o grau de intensidade da cor. Durante o processo, procurava-se também transferir para a geração seguinte às plantas ou progênies com melhores características de fibra. A cor da fibra, apesar de ser controlada geneticamente, é influenciada pelo ambiente, em particular pela luz solar, conteúdo de minerais e tipo de solo, que determina a sua manifestação fenotípica (Carvalho & Santos, 2003).

A cultivar BRS 200-marrom foi a primeira cultivar de algodão de fibras geneticamente coloridas (marrom claro), obtida no Brasil, selecionada a partir de algodoeiros arbóreos nativos do semi-árido nordestino, e foi lançada comercialmente em dezembro de 2000. A cultivar BRS Verde foi originada após vários ciclos de seleção, visando à manutenção da cor verde e a resistência da fibra. Deverá ser indicada para fiar fios grossos e preferencialmente para confecção de jeans e outros artigos de artesanatos como rede, por

exemplo, já que ocorre um pequeno desbotamento com o tempo, devido à luz solar. Foi lançada comercialmente em dezembro de 2002; as sementes estão sendo multiplicadas para distribuição aos produtores. A coloração natural valoriza os novos produtos, ecologicamente corretos, já que dispensam o tingimento artificial que polui o meio ambiente. Além disso, se for produzido organicamente (sem o uso de insumos e fertilizantes químicos), o produto poderá ainda ficar mais valorizado. Os avanços obtidos até então com o algodão colorido decorreram da exploração do germoplasma natural do algodão, por meio de métodos tradicionais de melhoramento genético. O uso da biotecnologia de transferência de genes que controlam a expressão de várias tonalidades de cores, das espécies selvagens de algodão para as cultivares modernas, já constitui um dos objetivos das empresas de biotecnologia que trabalham com algodão, no mundo, o que pode resultar em avanços tecnológicos e em economia de tempo e recursos na obtenção das futuras cultivares de algodão colorido (EMBRAPA/Algodão, 2002).

O algodoeiro não é uma planta esgotante do solo, pois a quantidade de nutrientes retirada pela fibra e pelas sementes é relativamente pequena, se comparado ao que é extraído por outras culturas de importância econômica. Requer uma boa disponibilidade de nutrientes no solo ou que as deficiências sejam corrigidas mediante uma adequada fertilização. O nitrogênio tem sido o elemento mais importante para a produção do algodão, já que, em quantidades baixas ou altas, a maioria dos solos necessita da adição de fertilizantes nitrogenados para a obtenção de rendimentos satisfatórios. O fósforo tem importante função no crescimento inicial da raiz e, em consequência, sobre o enraizamento, o vigor da planta e a precocidade da cultura; é um dos nutrientes menos absorvidos pelo algodoeiro, mas quando está deficiente na planta a produção cai substancialmente. A ação do potássio é pouco conhecida, porém, sabe-se que a folha aumenta sua atividade assimilatória e, particularmente, a síntese do carbono. É um elemento muito móvel e distribui-se por toda a planta. A absorção de potássio da solução do solo, além de depender da concentração externa, é influenciada por outros fatores: temperatura, aeração, umidade, presença de outros íons, sistema radicular e capacidade de troca de cátions. A absorção de nutrientes é variável de acordo com a idade da planta do algodão: na fase de estabelecimento das plantas, há maior absorção de fósforo, magnésio, enxofre e ferro; na fase dos primeiros botões florais e formação das primeiras flores, o nitrogênio, o potássio, o cálcio e o enxofre são absorvidos com maior intensidade; já na fase de floração plena e de formação das primeiras maçãs, há maior absorção de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, enquanto durante o período de maturação e abertura dos primeiros capulhos, o fósforo, o potássio, o magnésio e o ferro são os elementos absorvidos com maior intensidade (Carvalho et al. 1999).

3.6.2 Milho

As grandes culturas, principalmente as gramíneas (por exemplo, milho, trigo, cana-de-açúcar e sorgo) são as ideais para a reciclagem agrícola do lodo, visto que, além de tirarem bom proveito do resíduo, seus controles fitossanitários e colheita são realizados mecanicamente, sendo o produto final normalmente industrializado, o que reduz o risco de qualquer tipo de contaminação. Na literatura, vários são os trabalhos avaliando o efeito residual de lodo de esgoto na cultura do milho. Seu período de vegetação longo e a necessidade de nitrogênio se adaptam ao período de mineralização da matéria orgânica do lodo e à liberação dos nutrientes. A aplicação do lodo também previne a depauperação hídrica do solo, principalmente no plantio de milho para silagem. Como os grãos ficam longe do solo e a colheita é mecânica, praticamente elimina qualquer risco de contaminação biológica (SANEPAR, 1997).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelo milho e é responsável pelo desenvolvimento vegetativo e pelo verde intenso das folhas. Como constituinte essencial dos aminoácidos, é fundamental para a síntese de proteínas e, uma vez que a formação dos grãos depende do conteúdo de proteína da planta, a produção do milho está diretamente relacionada com o suprimento de nitrogênio. As deficiências de nitrogênio em milho são comuns em solos degradados e com baixa disponibilidade de matéria orgânica, portanto, sendo o lodo rico em matéria orgânica, seu uso seria adequado nos locais em que os solos estão depauperados. Esta cultura também é muito exigente em fósforo (esse nutriente é importante já na fase inicial do desenvolvimento vegetativo da cultura, por estimular a formação e o desenvolvimento do sistema radicular, até a maturação) e em potássio (depois do nitrogênio e do fósforo, o potássio é absorvido em maiores quantidades pela cultura) (SANEPAR, 1997).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas em muitos países, rivalizando com o trigo, o arroz e a aveia na produção mundial. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, com uma safra na faixa de 35 milhões de toneladas na média dos três últimos anos. Entretanto, sua importante indústria de aves e suínos o torna um dos maiores consumidores do mundo, impedindo inclusive a participação nas exportações mundiais. A cultura do milho está se transformando em lavoura de ponta, com várias regiões produtoras alcançando produtividade altíssima e com expansão de área em regiões que podem ser intensivamente mecanizáveis, como o Cerrado. O uso crescente de sementes melhoradas continuará sendo um dos grandes impulsos do aumento de produção (EMBRAPA/CNPACT, 2002).

No Nordeste, entre os diversos produtos utilizados por pequenos e médios produtores, o milho constitui um dos componentes essenciais da economia regional. Assume papel de destaque, pois é bastante consumido na alimentação humana e também usado na alimentação animal, principalmente de suínos e aves. Sua crescente utilização tem causado problemas no abastecimento regional, pois a quantidade de grãos produzida é pequena para atender a demanda, tornando necessária a busca do produto em outras regiões do país, onerando o preço de seus derivados diretos ou indiretos. Além da instabilidade pluviométrica, as altas temperaturas, o baixo nível tecnológico dos produtores, soma-se a esses fatores a falta de sementes melhoradas que apresentem adaptação a essas condições, resultando no quadro de baixa produtividade da cultura na nossa região. Partindo do princípio de que sementes melhoradas constituem um dos insumos mais baratos, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas objetivando a obtenção de variedades que possuam alto potencial genético de produção, aliado à rusticidade. As características do milho híbrido o tornam ideal para as condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, pois, além de produtivo, é bastante resistente (EMBRAPA/Milho e Sorgo, 2002).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização dos Experimentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, no Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNPA), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Campina Grande, Paraíba.

A cidade de Campina Grande está localizada na Zona Centro Oriental da Paraíba, no Planalto da Borborema, cujas coordenadas geográficas são latitude sul 7°13'11", longitude oeste 35°53'31" e altitude 547,56m. O período chuvoso é de março – julho e o mais seco é de outubro – dezembro. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o município apresenta: precipitação total anual de 802,7 mm; temperaturas máxima (27,5°C) e mínima (19,2°C), (média anual), e umidade relativa do ar de 83%.

4.2 Solo

O solo utilizado (classificado como Neossolo, anteriormente denominado Regossolo), foi proveniente de Lagoa Seca, PB e coletado nas instalações da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária (EMEPA), e caracterizado química e fisicamente na EMBRAPA/Algodão e no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola (UFCG), de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997). A caracterização física constou das seguintes determinações: granulometria, densidade aparente e real, porosidade total e conteúdos de água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. A caracterização química constou das seguintes determinações: pH (em água), condutividade elétrica, teor de matéria orgânica, nutrientes disponíveis (fósforo, P; potássio, K; cálcio, Ca e magnésio, Mg) e alumínio trocável.

4.3 Adubação Orgânica

4.3.1 Lodo

O lodo utilizado foi coletado em um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) do Programa de Saneamento Básico (PROSAB), localizado nas dependências da Estação

Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitário (EXTRABES), em Campina Grande, PB.

O lodo digerido foi submetido às seguintes caracterizações:

*** físico-químicas**

Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, segundo a metodologia descrita pela APHA (1995); nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), (EMBRAPA, 1997) e metais pesados (boro, cálcio, cádmio, cobre, cromo total, chumbo, enxofre, ferro, magnésio, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, zinco), realizadas pela CETREL, de acordo com a APHA (1995).

*** bacteriológica**

Coliformes totais e fecais e *Escherichia coli*, em duplicata, pela técnica de tubos múltiplos. Os estreptococos fecais foram quantificados, em duplicata, pela técnica de membrana filtrante (APHA, 1998).

*** parasitológica**

Ovos de helmintos e viabilidade destes (coloração rápida) pelas técnicas de Yanko (1987, apud Bonnet et al., 1998) e Galván & Victorica, 1998, respectivamente.

4.3.1.1 Processos de Desinfecção

Foram utilizados dois processos de desinfecção do lodo:

* **calagem** - com cal virgem (óxido de cálcio - CaO) a 50% do peso seco do lodo (sólidos totais);

* **secagem ao ar** - realizada na casa de vegetação (EMBRAPA/Algodão), durante 20 dias, a uma temperatura de 26-38°C.

A calagem foi realizada em vasos plásticos de 5L, colocando 2kg de lodo de cada vez. A incorporação da cal ao lodo foi realizada com o auxílio de uma espátula, visando obter mistura homogênea. Em seguida, a mistura foi transferida para vasos de 21L, cobertos com

filme plástico e enrolados por fora, objetivando deixar o sistema fechado hermeticamente e, desta forma, evitar as perdas de amônia, por volatilização.

4.3.2 Esterco Bovino

O esterco utilizado foi proveniente de Barbalha, CE, coletado nas instalações da Estação Experimental, e caracterizado quimicamente na EMBRAPA/Algodão de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997). Foi incorporado na dosagem de 20t/ha.

4.4 Adubação Mineral

Como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, foram utilizados os seguintes adubos minerais: sulfato de amônio (20% de N), superfosfato triplo (45% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), respectivamente. Foram incorporados na dosagem de 90kg/ha.

4.5 Água de Irrigação

A água de irrigação utilizada foi a água de abastecimento desta cidade, sem cloro residual, e foi submetida mensalmente à caracterização física e química no Laboratório de Saneamento Ambiental (AES/A) do Departamento de Engenharia Civil (UFCG), de acordo com os métodos analíticos comumente utilizados em análises de águas (APHA, 1995).

4.6 Delineamento Estatístico

O delineamento foi em blocos casualizados, utilizando-se esquema fatorial [(5x2) + 3], representado por cinco dosagens de lodo (70, 140, 210, 280 e 320kg N/ha)³, duas consistências do lodo (seco e pastoso/calado), mais três testemunhas: absoluta (solo), com adubação mineral (nitrogênio, fósforo e potássio) e com adubação orgânica (esterco bovino), com quatro repetições. A unidade experimental foi representada por vasos plásticos com capacidade de aproximadamente 21L, totalizando treze tratamentos e cinquenta e dois vasos (Figura 1).

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se as culturas do algodão e do milho no primeiro e segundo experimentos, respectivamente; com o solo próximo à capacidade de campo. As dosagens foram escolhidas com base no teor de nitrogênio do lodo. As quantidades

³ Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha, respectivamente.

de lodo em cada tratamento foram estimadas em função do teor de nitrogênio presente em 100g de sólidos totais e na quantidade a ser mineralizada no ciclo da cultura.



Figura 1–Distribuição dos blocos e tratamentos na casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão.

4.7 Experimento I - Algodão

Foram utilizadas sementes de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch.), BRS verde. As sementes foram submetidas ao deslignamento químico, base úmida, com ácido sulfúrico (H_2SO_4), na proporção de 7kg de sementes para 1 litro de ácido concentrado (p.a.), durante 2-3 minutos, seguido de lavagem em água corrente para retirada do excesso do ácido. Após secagem natural por 12 horas, foram submetidas à classificação em mesa de gravidade; em seguida, foram acondicionadas em sacos de papel (EMBRAPA, 1997).

O solo inicialmente foi destorroado e homogeneizado, em seguida peneirado (malha de 2 mm) para ser submetido às análises físicas e químicas. Os vasos foram pintados de cor cinza e feitos furos na parte inferior para facilitar a drenagem e lixiviação. A base inferior de cada vaso foi acoplada sobre um outro recipiente para coleta do líquido percolado.

Para evitar acúmulo de água e facilitar a lixiviação colocou-se tela e uma camada de 3 cm de cascalhinho na parte inferior dos vasos e, em seguida, foram preenchidos com o solo. O somatório do (vaso + tela + cascalhinho) foi de 2,2kg e do solo 18,9kg, totalizando 21,10kg por vaso. Quarenta e oito horas antes da semeadura, fez-se uma irrigação uniforme para todos os vasos, objetivando deixar a umidade do solo próxima à capacidade de campo, para favorecer a incorporação dos adubos orgânicos e minerais.

Na incorporação do biossólido ao solo, este foi retirado do vaso até 12cm de profundidade e misturado manualmente com o biossólido na dosagem adequada para cada

tratamento. Procedimento semelhante foi utilizado para os tratamentos que receberam esterco bovino e adubos minerais.

A semeadura foi realizada a uma profundidade de 2cm, utilizando-se cinco sementes por vaso. Foram realizadas irrigações diárias nos vasos, de forma a repor a água consumida na evapotranspiração e manter o solo com umidade próxima à capacidade de campo. A germinação ocorreu cinco dias após a semeadura, com o surgimento de cinco plântulas por vaso. O primeiro desbaste foi realizado onze dias após a emergência, deixando-se duas plântulas por vaso, sendo escolhidas as de tamanho uniforme e bem distribuídas no recipiente. Aos vinte e quatro dias após a emergência realizou-se o segundo desbaste, ficando uma planta por vaso. A duração do experimento foi de cinco meses (18/maio/2002 a 12/outubro/2002).

No decorrer do experimento, a cultura foi mantida livre de ervas daninhas, eliminando-se manualmente as que por ventura apareciam. Para o controle de eventuais pragas (mosca branca e pulgão), empregaram-se os inseticidas sistêmicos Agrophos Monocrotophos e Endosulfan.

Diariamente, a partir da fase de abertura dos primeiros botões até a última semana de abertura dos frutos, foram contados os números de botões florais, de flores, de frutos e de capulhos por planta e expressos em termos de número de estruturas reprodutivas por planta. Para que não houvesse perda de dados, devido principalmente à senescência (murchamento) e abscisão (queda) de folhas, diariamente coletaram-se, em cada planta, as folhas, flores, botões, frutos e capulhos que caíam, os quais eram colocados individualmente em sacos de papel enumerados de acordo com o tratamento.

No final do experimento houve coleta das plantas, com separação da parte aérea, raiz e pluma. As raízes foram lavadas e secas à sombra e, juntamente com a parte aérea, colocadas em estufa (65 °C), durante 72 horas até peso constante, para obtenção do peso da matéria seca.

4.8 Variáveis Estudadas

As variáveis de crescimento e desenvolvimento vegetativo foram determinadas através das seguintes determinações:

4.8.1 Altura de Plantas

A altura de planta (cm) foi mensurada com régua, medindo-se o comprimento desde o colo da planta até a inserção da última folha.

4.8.2 Diâmetro Caulinar

O diâmetro do caule (mm) foi obtido a 1cm do colo da planta, utilizando-se um paquímetro.

Os dados de altura de planta e diâmetro caulinar foram coletados em intervalos a partir de 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias após a emergência das plantas (dae).

4.8.3 Fitomassa (Peso de massa seca)

No final do experimento, as plantas foram coletadas, com separação da parte aérea, raiz e da pluma. As raízes foram lavadas e secas a sombra e, juntamente com a parte aérea, colocadas em estufa (65°C), onde permaneceram até alcançar peso constante para determinação da massa seca.

4.8.4 Produção

As variáveis de produção, representadas por número e peso de capulho, rendimento (pluma + sementes que equivale ao peso do algodão em caroço), rendimento em pluma (peso de algodão em pluma), peso de cem sementes e percentagem de fibra, foram analisadas de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).

4.8.5 Qualidade Tecnológica da Fibra

Os valores das características intrínsecas da fibra foram obtidos pelo equipamento HVI (High Volume Instrument), obedecendo à norma internacional para análise de fibra (ISO 139ASTM D 1776/NBR 8428-84), no Laboratório de Fibras e Fios da EMBRAPA-Algodão, de acordo com Santana et al. (1999):

Comprimento a 2,5% – é o comprimento médio alcançado por 2,5% das fibras presentes na amostra, distribuídas ao acaso, em um pente ou pinça especial;

Uniformidade de fibra – é uma medida da dispersão do comprimento das fibras dentro da totalidade da amostra;

Índice de fibras curtas e/ou conteúdo de fibras curtas – refere-se a percentagem em peso das fibras com comprimento inferior a 12,7mm presente na amostra;

Resistência – é obtida pela medição da força requerida para romper uma amostra de fibra; é definida pela parede secundária, ou seja, pela quantidade de celulose depositada no

interior da fibra e tem, na sua classificação, relação direta com a resistência do fio e o andamento do fio na fiação;

Alongamento à ruptura – é o comprimento médio da distância à qual as fibras se distendem antes da ruptura quando submetidas a um esforço de tração; proporciona uma idéia da fiabilidade esperada e das possibilidades de tratamento posteriores.

Índice Micronaire (finura) – mede o diâmetro externo da fibra ou a área da seção transversal da fibra; representa atualmente um conjunto de todos esses fatores, aliado a sua maturidade;

Fiabilidade – refere-se a capacidade que a fibra oferece aos esforços de tração e torção possibilitando a confecção do fio.

4.9 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com aplicação do Teste F. No entanto, os dados referentes ao número de capulho por planta, por não apresentarem uma distribuição normal e homogênea de variância, foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$. Efetuou-se o desdobramento dos quatro graus de liberdade, referentes às cinco doses de lodo utilizadas, procedendo-se à análise de regressão, sendo escolhido o modelo de maior grau significativo quando o desvio da regressão foi não significativo; do contrário, optou-se por apresentar os resultados da tendência seguida pelos pontos observados. Os dados foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Estes procedimentos foram executados pelo Statistical Analysis System (SAS), versão 8.2 (SAS/STAT, 2000).

4.10 Líquido Percolado

O líquido percolado foi mensalmente submetido às análises físicas e químicas (Tabela 4.1), de acordo com os métodos analíticos comumente utilizados em análises de águas para irrigação, no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (AESAs) do Departamento de Engenharia Civil (UFCG).

Tabela 3 - Análises físicas e químicas no líquido percolado

Análises	Método	Referência
Potencial Hidrogeniônico	Potenciométrico	APHA (1995)
Condutividade Elétrica	Resistência Elétrica	APHA (1995)
Sódio	Fotométrico	APHA (1995)
Potássio	Fotométrico	APHA (1995)
Cálcio	Titulométrico	EMBRAPA (1997)

Magnésio	Titulométrico	EMBRAPA (1997)
Bicarbonato	Titulométrico	RICHARDS (1954)
Carbonato	Titulométrico	RICHARDS (1954)
Sulfato	Turbidimétrico	APHA (1995)
Cloreto	Argentométrico	APHA (1995)
Amônia	Nesslerização Direta	APHA (1995)
Nitrato	Salicilato de Sódio	RODIER (1989)
Fósforo Total	Espectrofotométrico do Ácido Ascórbico c/ Pré Digestão pelo Persulfato de Amônia	APHA (1995)
Ortofosfato Solúvel	Espectrofotométrico do Ácido Ascórbico	APHA (1995)

4.11 Experimento II - Milho

O mesmo foi realizado com sementes de milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 1051, safra 2002, para avaliar o efeito residual dos diversos tratamentos. As sementes utilizadas, apresentando 98% de pureza e 85% de germinação, foram produzidas pela Agrocere, em Santa Helena de Goiás, Go. Este híbrido é utilizado para silagem, produção de milho verde e de grãos, ciclo semiprecoce; sistema radicular excelente; porte alto; e grão dentado amarelo.

Aproveitando a estrutura (vasos) do primeiro experimento, realizou-se a semeadura do milho híbrido, utilizando-se cinco sementes por vaso, o procedimento de irrigação diária dos vasos foi semelhante ao do primeiro experimento. A germinação ocorreu seis dias após a semeadura, com o surgimento de cinco plântulas por vaso. O primeiro desbaste foi realizado oito dias após a emergência, deixando-se duas plântulas por vaso, sendo escolhidas as de tamanho uniforme e bem distribuídas no recipiente. Aos dezesseis dias, realizou-se o segundo desbaste, ficando uma planta por vaso. A duração do experimento foi de cinquenta e cinco dias (outubro/2002 a dezembro/2002).

No final do experimento, procedeu-se a avaliações relacionadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas de milho, através da medição de altura, diâmetro do caule, área foliar por folha e por planta. Efetuou-se a coleta das plantas, com separação da parte aérea e raiz. As raízes foram lavadas e secas à sombra e, juntamente com a parte aérea, colocadas em estufa (65°C), durante 72 horas, onde permaneceram até peso constante, para obtenção do peso da matéria seca (fitomassa aérea e radicular). Posteriormente, realizou-se análise de diagnose foliar e de solo. Todas as variáveis, com exceção da área foliar, foram determinadas seguindo a metodologia usada no primeiro experimento.

4.11.1 Área Foliar

A área foliar das plantas do milho foi mensurada através da largura (L) e do comprimento longitudinal (C) da oitava folha (do ápice para a base da planta), conforme recomendações de Pearce et al. (1975):

$$\text{Área foliar por folha (AF/F)} = C \times L \times 0,75$$

$$\text{Área foliar por planta (AF/P)} = \text{AF/F} \times 9,39$$

4.11.2 Análise Foliar

Para avaliação do estado nutricional das plantas, foram calculados os teores relativos a macronutrientes primários (N, P e K) e secundários (Ca e Mg) nas folhas das plantas de cada tratamento, de acordo com metodologia da EMBRAPA (1997).

4.12 Análise de Solo

Ao término do experimento, foram coletadas amostras de solo, procedentes de todos os tratamentos, para análise química, através da determinação dos seguintes parâmetros: pH, macronutrientes primários (N, P e K), secundários (Ca e Mg), alumínio trocável e matéria orgânica.

4.13 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, seguindo o mesmo procedimento utilizado para o primeiro experimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização bacteriológica, parasitológica, física e química dos materiais utilizados

5.1.1 Solo

O solo utilizado nos experimentos é típico da região de Campina Grande (Neossolo, anteriormente denominado Regossolo). A caracterização física está mostrada na Tabela 4: o solo foi classificado como franco-arenoso (apresentando 76,65% de areia, 8,68% de silte e 14,67% de argila). A capacidade de campo (CC=5,26%) representa o limite superior de água disponível no solo para o desenvolvimento das plantas e corresponde à umidade média de uma camada de solo após a redistribuição ou drenagem da água de chuva ou de irrigação; enquanto que a determinação do ponto de murcha permanente (PMP=2,44%) representa o limite inferior de água disponível no solo retido de tal maneira que a planta não consegue retirá-la do solo, murcha e não recupera mais a turgescência a não ser que se coloque água no solo. A água retida (2,82%) entre a CC e o PMP, é considerada o máximo de água disponível à cultura. A densidade aparente, também chamada de global ou densidade do solo ($1,52\text{kg}/\text{dm}^3$), expressa a relação entre a massa do solo seco e o seu volume total. De acordo com Silva (1999), é bastante variável devido a sua dependência com a textura, estrutura e grau de compactação do solo; seu valor pode atingir de $1,3-1,8\text{kg}/\text{dm}^3$ em solos arenosos. A densidade real ou densidade das partículas do solo ($2,76\text{kg}/\text{dm}^3$) é definida pela relação entre a massa do solo e o volume das partículas, minerais e orgânicas, constituintes. Segundo Silva (1999), é função da natureza mineralógica das partículas do solo; em geral, para solos com baixo teor de matéria orgânica, seu valor está entre $2,6-2,7\text{kg}/\text{dm}^3$. É uma informação útil na determinação do volume total de poros do solo, que expressa a porção do solo não ocupada por sólidos. O solo utilizado apresentou porosidade total de 56,52%. Do ponto de vista agrônomico, a porosidade desempenha uma importante função na produtividade dos solos, face à sua influência sobre a retenção de água, a aeração e o enraizamento das plantas (Silva, 1999).

Apresentou baixo teor de matéria orgânica ($5\text{g}/\text{dm}^3$) (Tabela 5). De acordo com Tomé Jr. (1997), baixos teores de matéria orgânica são frequentes em solos que apresentam baixa capacidade de troca de cátions (CTC) total e CTC efetiva o que possibilita elevada lixiviação de bases (Ca, Mg e K). O valor encontrado para o pH (5,89) é adequado para algodoeiro, que pode ser cultivado em uma ampla faixa de solos, porém os de textura média à pesada,

profundos e com características boas de retenção de água são os preferidos; a faixa de pH é entre 5,5 a 8, considerando-se ótima entre 7 e 8 (Doorenbos e Kassam, 1994). Os teores de sódio, potássio e alumínio trocáveis foram baixos, 0,9, 0,4 e 2,0mmol/dm³, respectivamente. Enquanto o de magnésio (11,4mmol/dm³) foi considerado alto (Tomé Jr. 1997). De acordo com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o teor de cálcio (11,1mmol/dm³) é considerado alto.

Tabela 4 - Caracterização física do solo

Textura			Densidade		Porosidade	Conteúdo de Água no Solo	
(g/kg)			(kg/dm ³)		(%)	(%)	
Areia	Silte	Argila	Aparente	Real		CC (0,33 atm)	PMP (15 atm)
766,5	86,8	146,7	1,52	2,76	56,52	5,26	2,44

Classificação Textural: Franco Arenoso

Tabela 5 - Caracterização química do solo

Determinações									
pH(H ₂ O)	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺¹	K ⁺¹	H ⁺¹	Al ⁺³	C.E.	M.O.
(1:2,5)	(mg/dm ³)	(mmol _c /dm ³)						(mmho/cm)	(g/dm ³)
5,89	7,4	11,1	11,4	0,9	0,4	12,8	2,0	0,1	5,0

Através do monitoramento de amostras de solo que foram submetidas à caracterização bacteriológica no início e término do experimento, (Tabela 6) observou-se que ocorreu aumento de 220% de CT ($5,0 \times 10^5 - 1,6 \times 10^6$ NMP/100g) e de 433% de CF ($3,0 \times 10^5 - 1,6 \times 10^6$ NMP/100g), não sendo detectada a presença de *E.coli* e de E.F. No início do experimento, foi observada uma população de *E. coli* de $1,1 \times 10^3$ NMP/100g e ausente no final em decorrência desta bactéria ser exclusiva do trato intestinal de animais homeotérmicos e de origem fecal. O aumento dos coliformes pode estar relacionado à capacidade de reprodução destes microrganismos fora do trato intestinal de animais homeotérmicos, que foi favorecida pela existência de condições favoráveis no ambiente como, por exemplo, matéria orgânica, pH, umidade, nutrientes e competição mínima com outros microrganismos, levando-os a se multiplicarem (Feachem et al., 1983). Os autores reportam que em um grama de fezes humanas existe, em média, 10^7 a 10^{10} de CT, 10^6 a 10^9 de CF e 10^5 a 10^8 de E.F. De acordo com Andraus et al. (1998), o tempo de sobrevivência é maior em solos neutros ou alcalinos, já que o pH do solo tem influência sobre a eficácia dos nutrientes e agentes inibidores. A matéria orgânica aumenta o tempo de sobrevivência de microrganismos no solo, devido a sua capacidade de reter a umidade. Os coliformes totais são classificados como bacilos gram-negativos aeróbios/anaeróbios facultativos não esporulados e que fermentam a lactose com

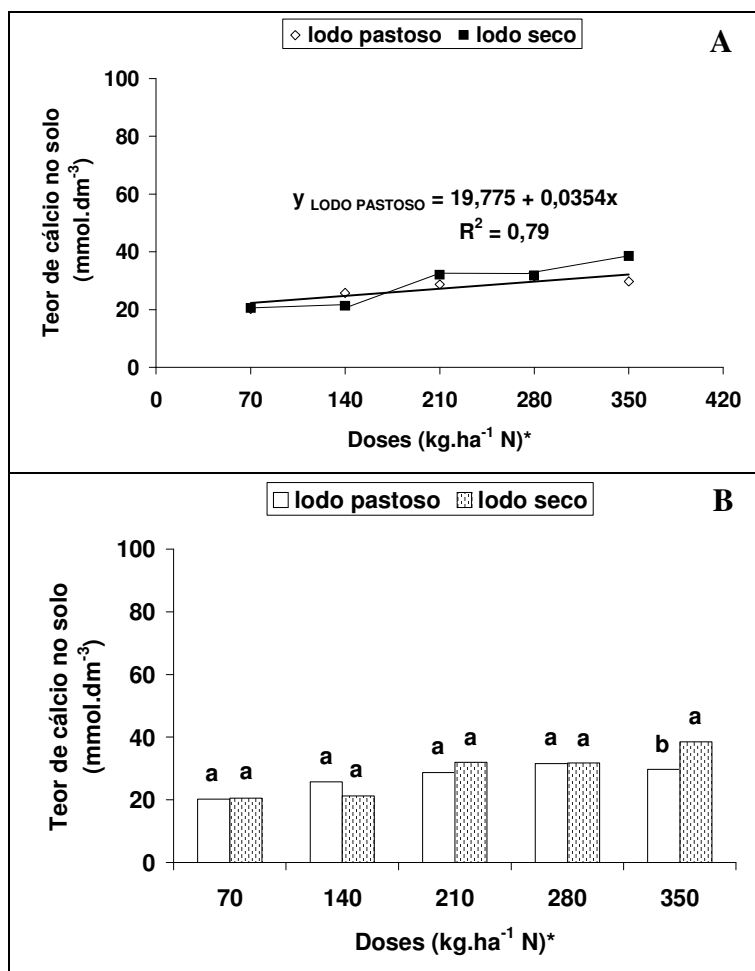
produção de ácido e gás depois de incubados a 37°C, durante 24-48 horas. Os coliformes fecais são um subgrupo dos coliformes totais e que se diferenciam destes por serem tolerantes a temperaturas mais altas, crescendo a temperaturas de 44,5°C e sendo capazes de sobreviverem melhor que os coliformes totais em condições adversas (APHA, 1998).

Tabela 6 - Caracterização bacteriológica do solo no início e no final dos experimentos

Amostra	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	<i>Escherichia coli</i>	Estreptococos Fecais
	(NMP/100g)	(NMP/100g)	(NMP/100g)	(UFC/100mL)
Solo (início)	$5,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^3$	Ausente
Solo (final)	$\geq 1,6 \times 10^6$	$\geq 1,6 \times 10^6$	Ausente	Ausente
	Aumento de 220%	Aumento de 433%	Redução de 100%	--

Para a caracterização química do solo no final dos experimentos, de acordo com os dados obtidos para a análise de variância (Tabela I - Anexo), verificou-se resposta significativa dos fatores isolados e da interação consistência x dose para as variáveis fósforo, matéria orgânica e nitrogênio determinados no solo. Com relação ao potássio, houve efeito significativo para os dois fatores isolados. Para o cálcio, ocorreu resposta significativa para o fator isolado dose e para a interação dose x consistência. Não houve resposta significativa para o magnésio em nenhum dos fatores estudados. Para o sódio e o alumínio, ocorreu efeito significativo apenas para o fator consistência do lodo. Com relação ao contraste fatorial versus testemunha, notou-se que houve diferença significativa para as variáveis cálcio, potássio, fósforo, matéria orgânica e nitrogênio. Para o sódio, ocorreu resposta significativa para os contrastes fatorial versus solo e fatorial versus adubo mineral. A comparação entre testemunhas mostrou efeito significativo apenas para o potássio.

Para o teor de cálcio, o desdobramento da interação dose x consistência de lodo, permitiu afirmar que o solo cultivado com lodo calado (pastoso) e com lodo seco não exerceu influência na sua quantidade de cálcio; a superioridade do lodo seco só foi verificada quando incorporado na última dosagem (350kgN/ha) (Figura 2B). Considerando-se as doses aplicadas em cada consistência de lodo (Figura 2A), estas se ajustaram a um modelo linear para o lodo calado (pastoso). Observa-se que a incorporação deste lodo ao solo disponibilizou um teor de cálcio levemente inferior a partir da terceira dose (210kgN/ha), quando comparado com a quantidade disponibilizada através do lodo seco. A comparação do fatorial versus testemunhas (Figura 3, A, B e C) permitiu destacar a superioridade do fatorial frente a cada testemunha analisada. Outros autores (Silva et al. (1998); Melo et al. (2000); Berton et al. (1989)) verificaram aumento do teor de cálcio no solo. De acordo com Tsutiya (2002), o aumento no teor de cálcio através da aplicação de bio sólido ao solo pode ser muito elevado



*Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha, respectivamente.

Figura 2-Teor de cálcio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

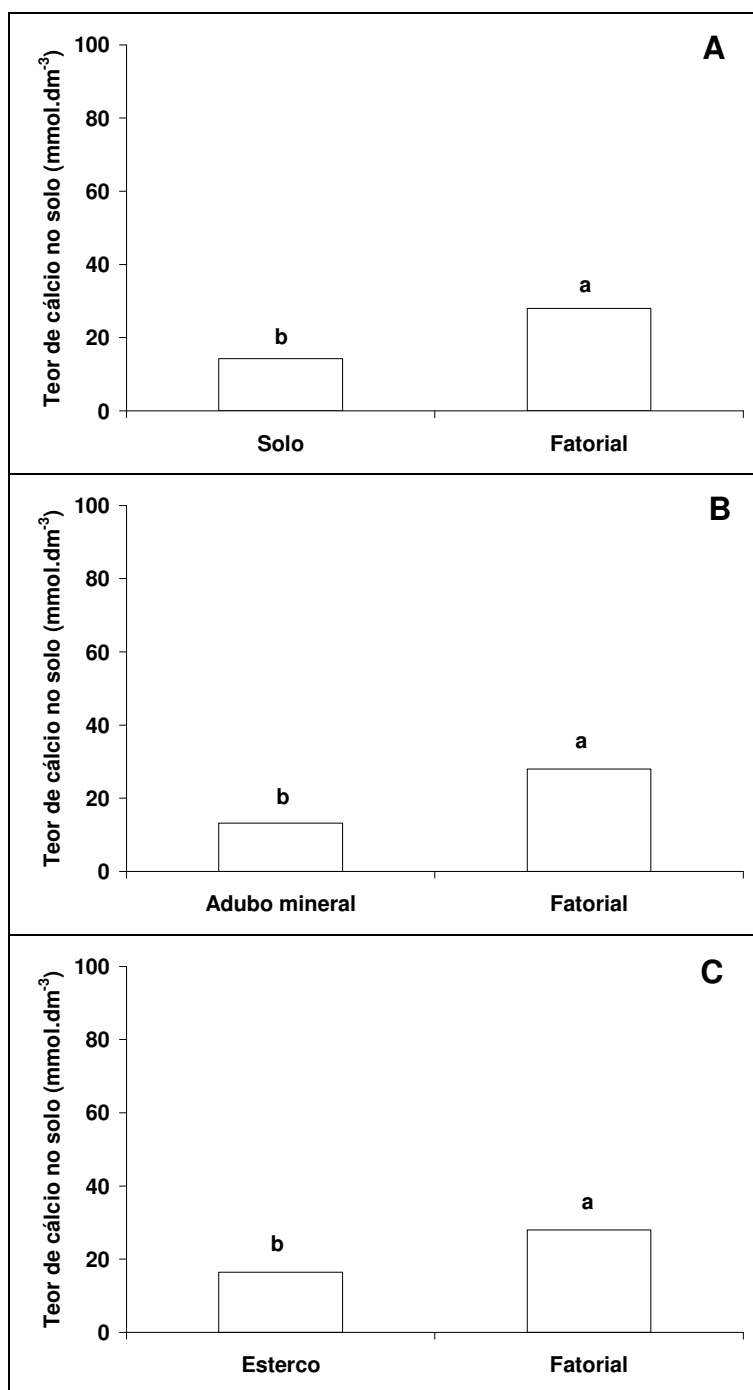


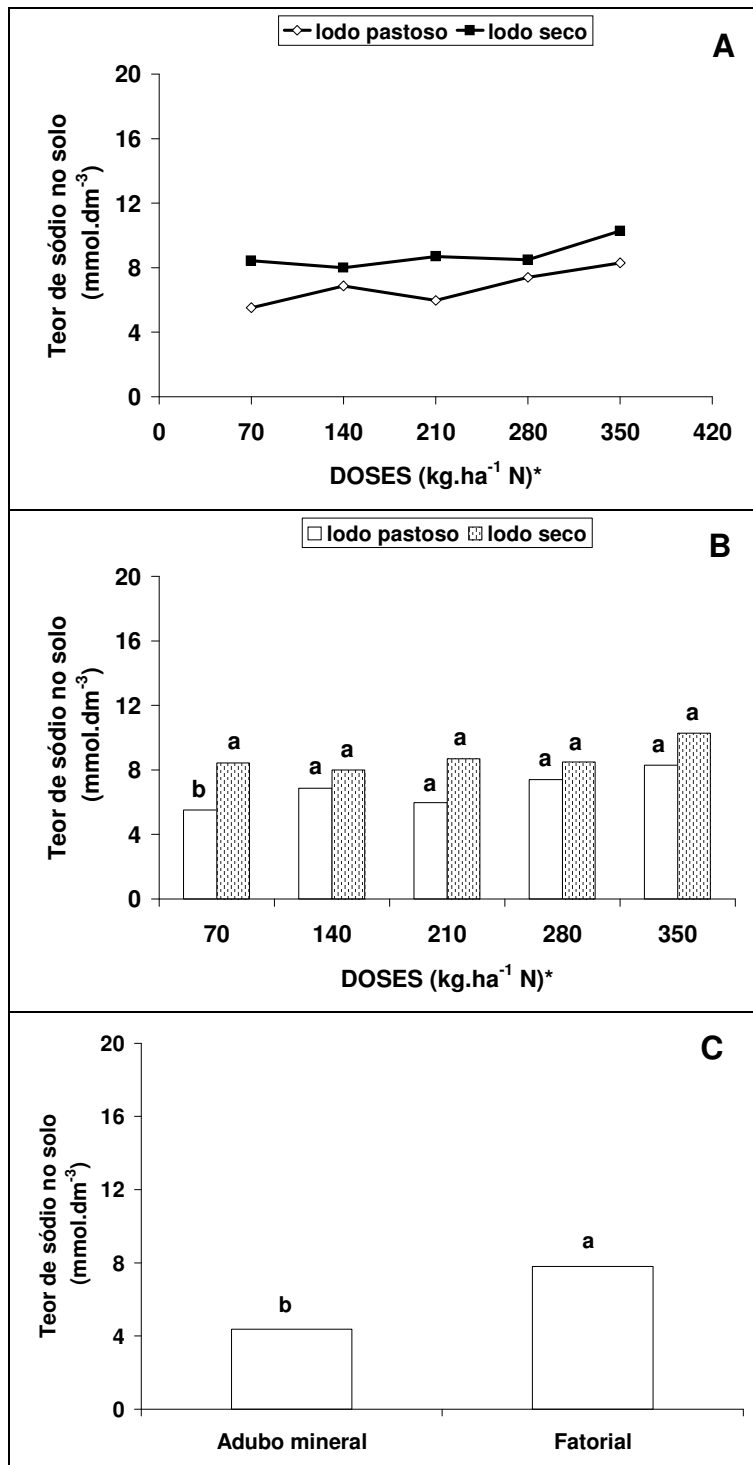
Figura 3-Teor de cálcio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A), fatorial vs adubo mineral (B) e entre fatorial vs esterco (C).

quando se faz uso da cal na desinfecção do bio sólido. Como tal fato não ocorreu, o cálcio pode ter sido absorvido pelas plantas ou ser perdido por lixiviação.

De acordo com alguns dados publicados na literatura, tem-se observado diminuição no teor de magnésio extraível pela incorporação do bio sólido calado ao solo. Esta diminuição é atribuída ao deslocamento do magnésio dos sítios de troca pelo cálcio, em decorrência do processo de calagem. No caso aqui analisado o magnésio não apresentou resposta estatística em nenhum dos fatores avaliados, o que pode ser explicado tomando como base o exposto anteriormente ou este nutriente ter sido lixiviado.

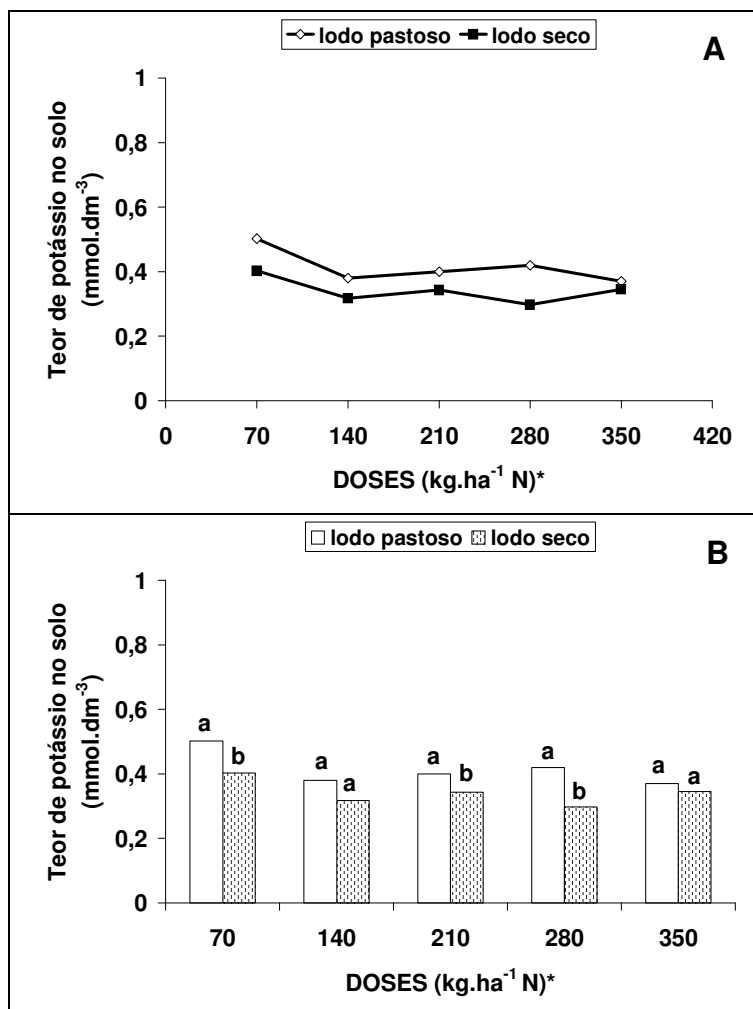
O maior teor de sódio no solo foi alcançado quando da incorporação do lodo seco, superando o lodo calado apenas na dose de 70kgN/ha (Figura 4A e B). Comparando-se o fatorial versus adubo mineral (Figura 4C), constatou-se a superioridade do fatorial. Não foram encontrados dados na literatura para comparação.

O maior teor de potássio no solo ocorreu quando da incorporação do lodo calado (pastoso) (Figura 5A) nas doses de 70, 210 e 280kgN/ha (Figura 5B). Comparando-se as testemunhas isoladamente com o fatorial, observou-se que estas diferiram estatisticamente do fatorial (Figura 6A, B e C). Comparando-se as testemunhas (Figura 6D), verificou-se que o solo que recebeu esterco apresentou maior teor de potássio. Silva et al. (1998) observaram que com a incorporação de lodo úmido ao solo houve diminuição de potássio e magnésio; Oliveira et al. (1995) reportam que, por ser o lodo de esgoto pobre em potássio, sua complementação mineral é obrigatória; Ros et al. (1993) verificaram que a incorporação de lodo aumentou a absorção de K_2O pelas plantas de milho. Os resultados obtidos também permitiram evidenciar a necessidade de suplementação mineral de potássio quando da utilização do lodo como fertilizante. Berton et al., (1989) trabalhando com lodo concluíram que a baixa concentração de potássio no solo, associado à sua pequena absorção pelas plantas de milho em alguns solos sugere a necessidade de complementá-lo pela adição de fertilizantes minerais em solos que apresentam baixos teores de potássio trocável. Melo et al. (2002) reportam que as formas disponíveis de potássio para as plantas são o potássio trocável e o potássio da solução do solo, que se originam da intemperização dos minerais e da decomposição dos resíduos orgânicos incorporados ao solo. O bio sólido não tem sido uma boa fonte de potássio, em decorrência do baixo teor encontrado no mesmo. Desta maneira, para o sucesso no uso agrícola do bio sólido, há que se proceder a uma complementação com outra fonte do elemento.



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo, respectivamente.

Figura 4-Teor de sódio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs adubo mineral (C). B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo, respectivamente.

Figura 5-Teor de potássio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

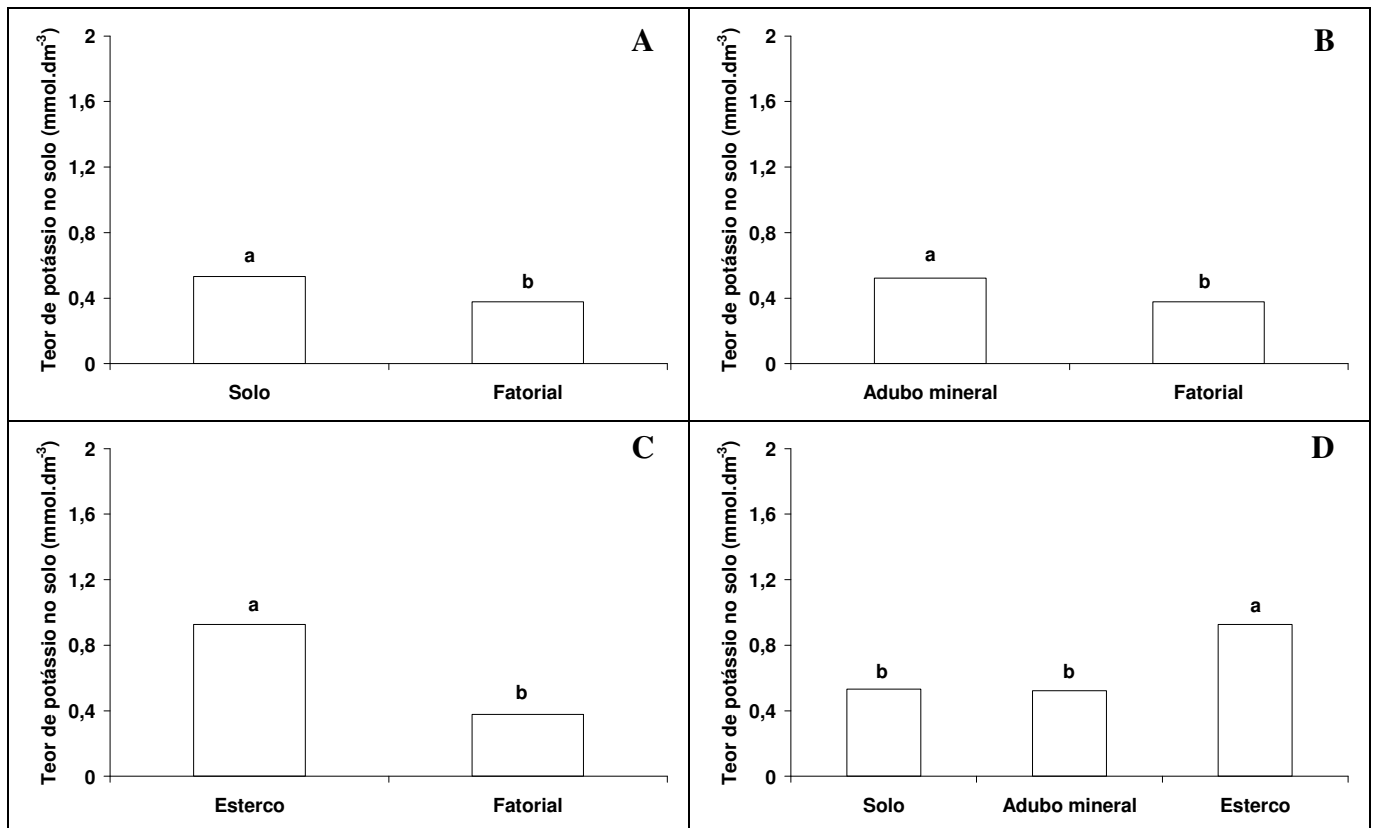
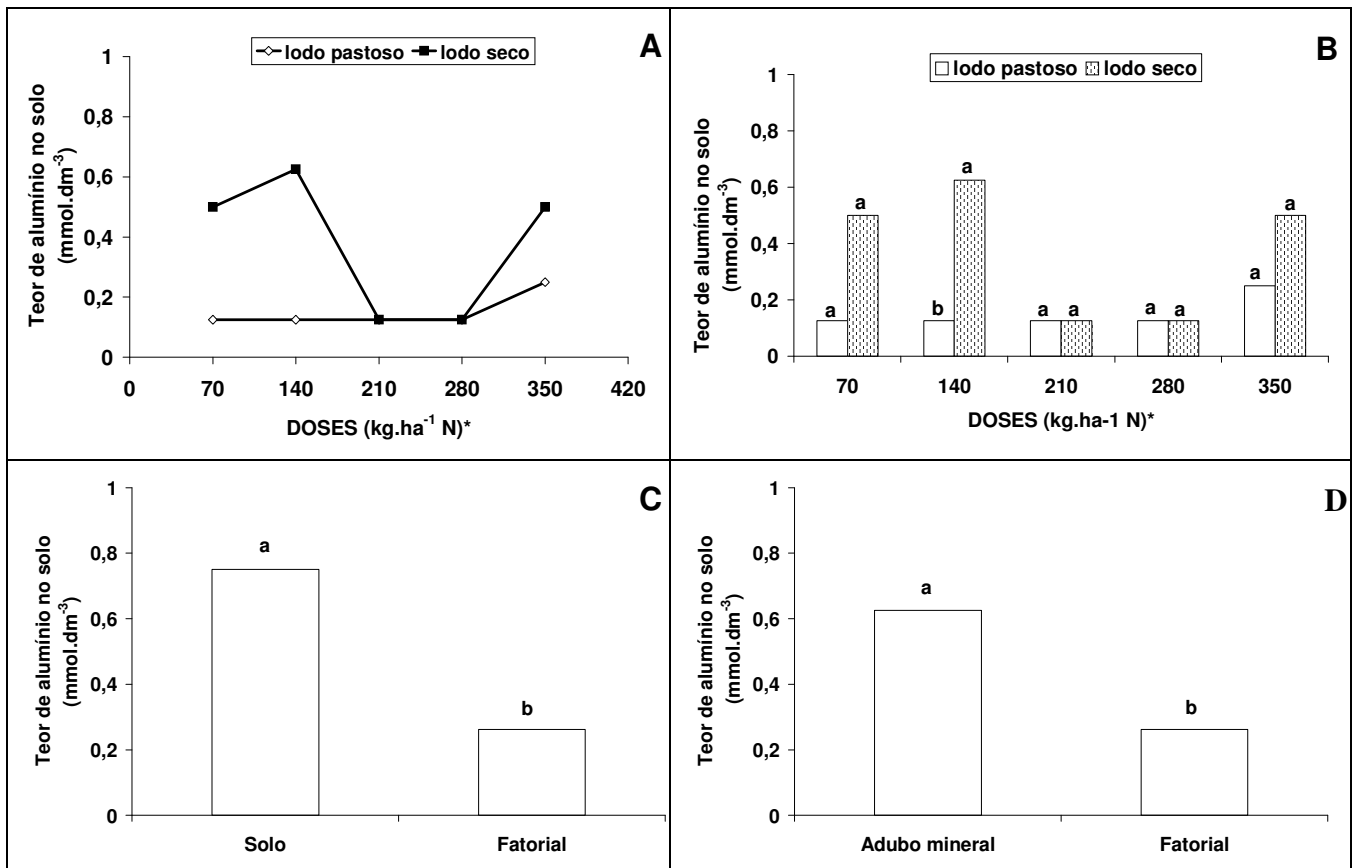


Figura 6-Teor de potássio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.

O maior teor de alumínio do solo verificou-se quando a este foi incorporado o lodo seco, que diferiu estatisticamente daquele que recebeu o lodo calado (pastoso) apenas na dose de 140kgN/ha (Figura 7,A e B). Através do contraste do fatorial versus solo (testemunha absoluta) e versus adubo mineral, verificou-se que estes proporcionaram um maior teor de alumínio ao solo quando comparado ao fatorial (Figura 7,C e D). Melo et al. (2000) verificaram diminuição da acidez potencial decorrente da aplicação de biossólidos por dois anos consecutivos na cultura do milho. A acidez potencial é constituída pela fração do hidrogênio do solo que não está dissociado e também pelo alumínio, que se dissocia em condições de acidez elevada, quando passa a ser um dos componentes da acidez potencial. Ao contrário do aqui observado, Melo et al. (2002) reportam que a adição de biossólido ao solo tem provocado diminuição na acidez potencial e no teor de alumínio trocável; esse resultado foi obtido por Berton et al. (1989).

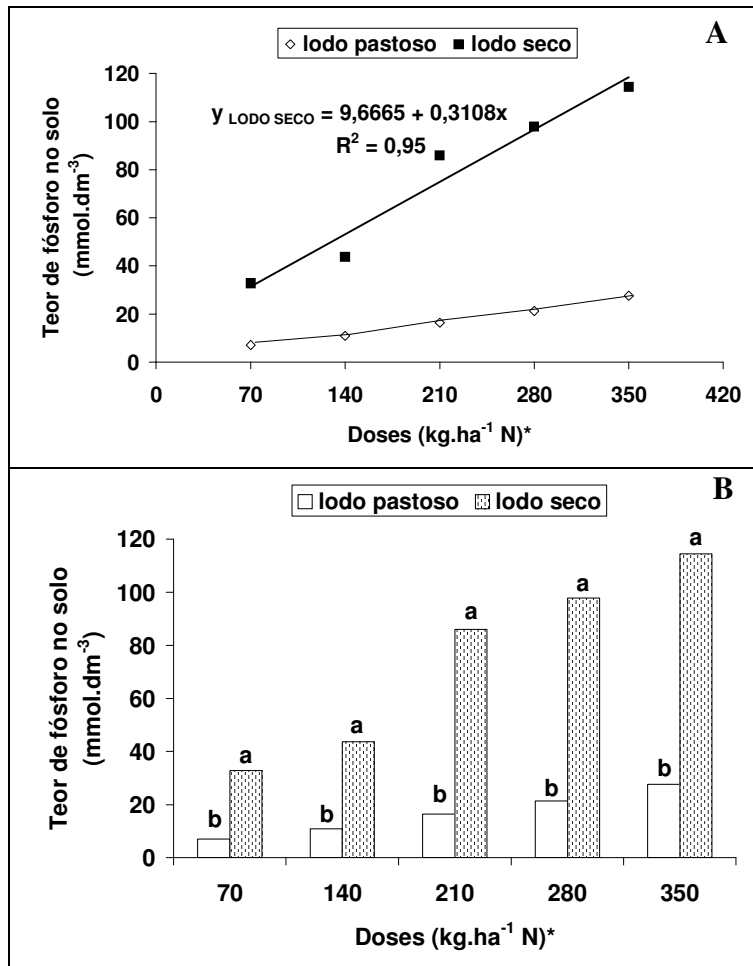
Através do contraste dose versus consistência de lodo, notou-se que o lodo seco quando incorporado ao solo possibilitou um maior teor de fósforo em cada dose estudada (Figura 8B). Quanto às doses aplicadas para cada consistência de lodo (Figura 8A), a incorporação do lodo seco ao solo disponibilizou um maior teor de fósforo, ajustando-se a um modelo linear com $R^2 = 0,95$. O contraste do fatorial versus testemunhas (Figura 9, A, B e C) denotou a superioridade do fatorial em relação a cada testemunha avaliada. Outros autores verificaram aumentos dos teores de fósforo no solo quando da utilização de biossólidos: Silva et al. (1998); Oliveira et al. (1995); Ros et al. (1993); Berton et al. (1989); Melo et al. (2000), avaliando a aplicação de biossólidos por dois anos consecutivos, em dois tipos de solos, verificaram que a adição de biossólidos afetou de maneira significativa o teor de fósforo nos dois solos: no primeiro ano houve tendência de aumento (latossolo roxo) para a dose mais elevada (10Mg/ha), enquanto no outro ano houve uma tendência de estabilização. Esta diferença de comportamento pode ser explicada por uma menor mineralização do biossólido no segundo ano ou por uma maior imobilização do fósforo no segundo ano; no Latossolo Vermelho-escuro o efeito das doses sobre o teor deste elemento foi muito pequeno no primeiro ano, detectando-se diferença significativa apenas entre as doses de 2,5 e 5,0 Mg/ha, enquanto que no segundo ano o efeito foi notável, com tendência de estabilização na dose mais elevada.

Segundo Tsutiya (2002), o fósforo do biossólidos é menos solúvel no solo que o dos superfosfatos, mas oferece maior constância no fornecimento ao longo do tempo. Andreoli et al. (2001) concordam com esta afirmação ao reportarem que o biossólido pode contribuir de duas maneiras para a otimização do uso deste elemento na agricultura: pode ser considerado como fonte de fósforo, visto que apresenta uma liberação lenta e contínua do elemento para as



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo, respectivamente.

Figura 7-Teor de alumínio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (C) e fatorial vs adubo mineral (D). B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo, respectivamente.

Figura 8-Teor de fósforo do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

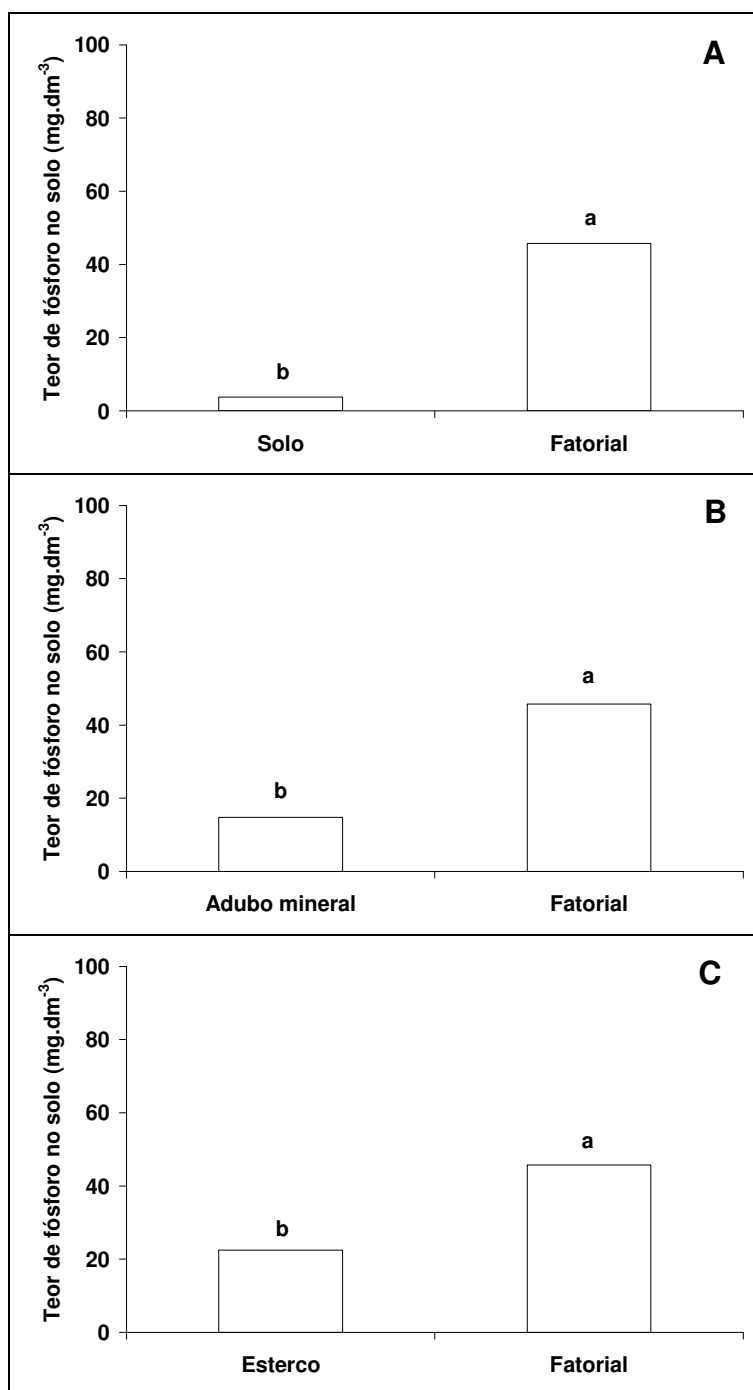


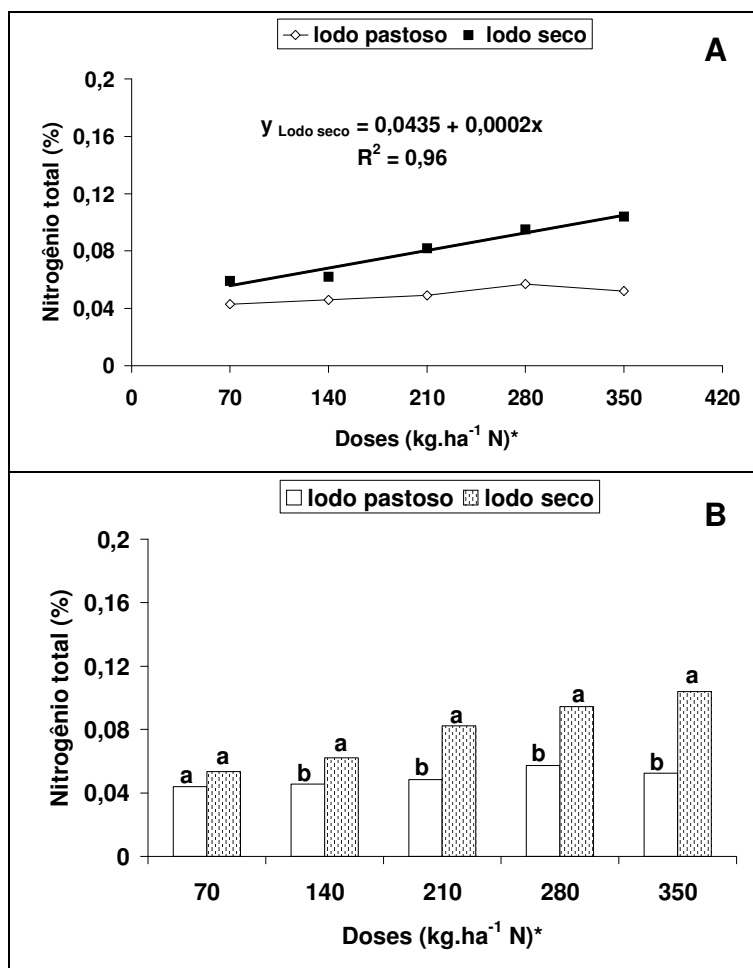
Figura 9-Teor de fósforo do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).

plantas e pode atuar no ciclo do fósforo no solo, auxiliando na disponibilidade do fósforo mineral fixado. A matéria orgânica ao ser decomposta libera ácidos que irão solubilizar parte do fósforo mineral fixado no solo; pode complexar o fósforo da solução do solo, liberando-o mais tarde e pode, ainda, revestir os componentes do solo que fixam o fósforo mineral.

Através do contraste dose versus consistência do lodo permitiu dizer que o lodo seco quando incorporado ao solo possibilitou um maior teor de nitrogênio a partir da segunda dose (140kgN/ha) (Figura 10B). Quanto às doses aplicadas para cada consistência de lodo (Figura 10A), a incorporação do lodo seco ao solo disponibilizou um maior teor de nitrogênio, ajustando-se a um modelo linear com $R^2 = 0,96$. O contraste do fatorial versus testemunhas (Figura 11,A, B e C), denotou a superioridade do fatorial em relação a cada testemunha analisada.

Melo et al. (2002) reportam que o bio sólido é um resíduo rico em nitrogênio, porém grande parte deste elemento se encontra em forma orgânica, necessitando, portanto, da atuação dos microrganismos do solo para se transformar na forma absorvível pelas plantas. A forma orgânica é pouco absorvida pelas plantas, necessitando ser mineralizado e passar para a forma do íon amônio, que em seguida, pode passar por um processo de nitrificação, originando o íon nitrato. O íon amônio possui carga positiva e pode ser adsorvido ao complexo de troca catiônica, dificultando sua lixiviação pelo perfil do solo, enquanto o íon nitrato, por possuir carga negativa, é muito pouco adsorvido no complexo de troca catiônica de pequena expressão em solos de regiões tropicais, sendo, portanto, altamente lixiviado pelo perfil do solo, e apresentando elevado potencial para poluir as águas subterrâneas.

Com relação ao teor de matéria orgânica do solo, a interação dose x consistência de lodo permite dizer que lodo seco, quando incorporado ao solo, proporcionou um maior teor de matéria orgânica quando comparado com a incorporação de lodo calado (pastoso) a partir da dose de 140kgN/ha (Figura 12B). Quanto às doses aplicadas para cada consistência de lodo (Figura 12A), a incorporação do lodo seco ao solo se ajustou a um modelo linear. O contraste do fatorial versus testemunha (Figura 13,A, B e C) mostrou a superioridade do fatorial em relação a cada testemunha avaliada. Silva et al. (2001) verificaram que a incorporação de lodo melhorou as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ao mesmo tempo em que os nutrientes presentes na sua constituição tornaram-se disponíveis para as plantas de sorgo, promovendo aumento de matéria seca; Costa et al. (2001) verificaram aumento da produtividade quando da incorporação de lodo seco e lodo calado, com destaque para o lodo calado; Melo et al. (2000), avaliando a aplicação de bio sólidos por dois anos consecutivos, em dois tipos de solos, constataram que a matéria orgânica não foi afetada; Melo et al. (1994) verificaram aumento na matéria orgânica quando da aplicação da dosagem mais elevada



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo, respectivamente.

Figura 10-Teor de nitrogênio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

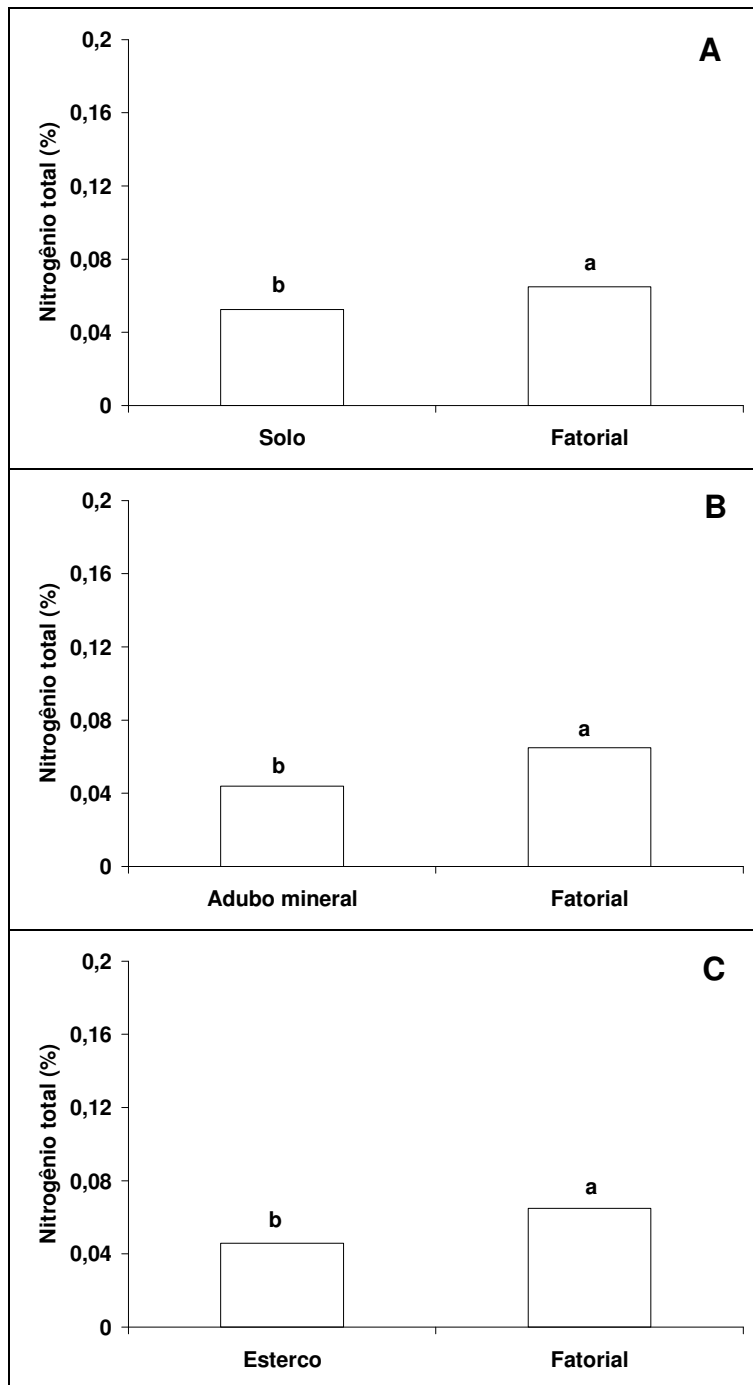
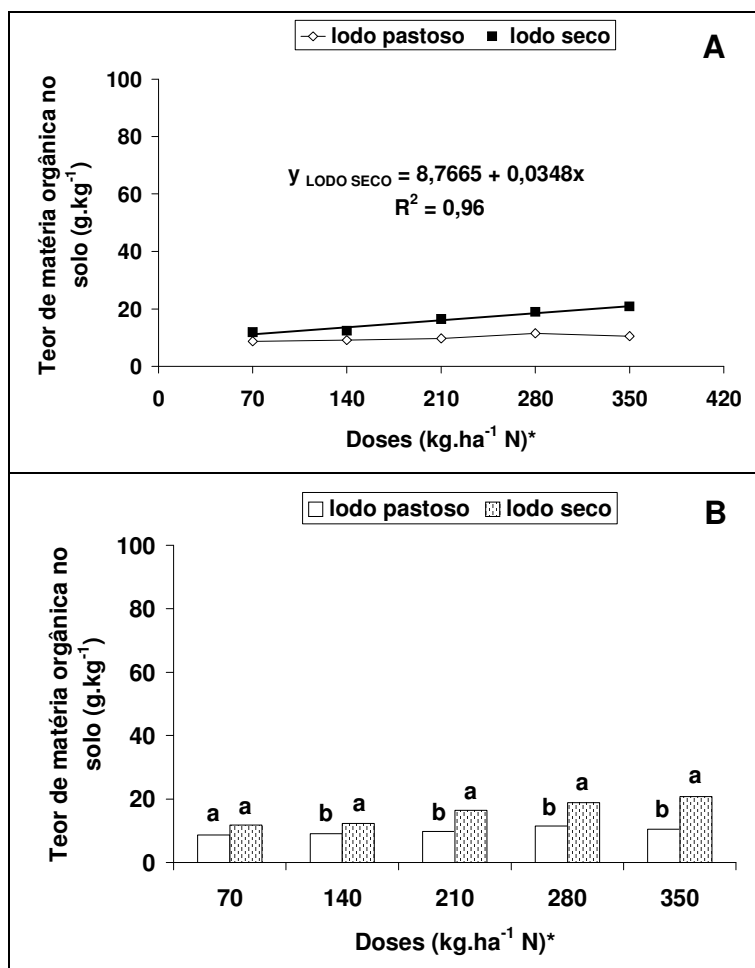


Figura 11-Teor de nitrogênio do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A), fatorial vs adubo (B) e fatorial vs esterco (C).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo, respectivamente.

Figura 12-Teor de matéria orgânica do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

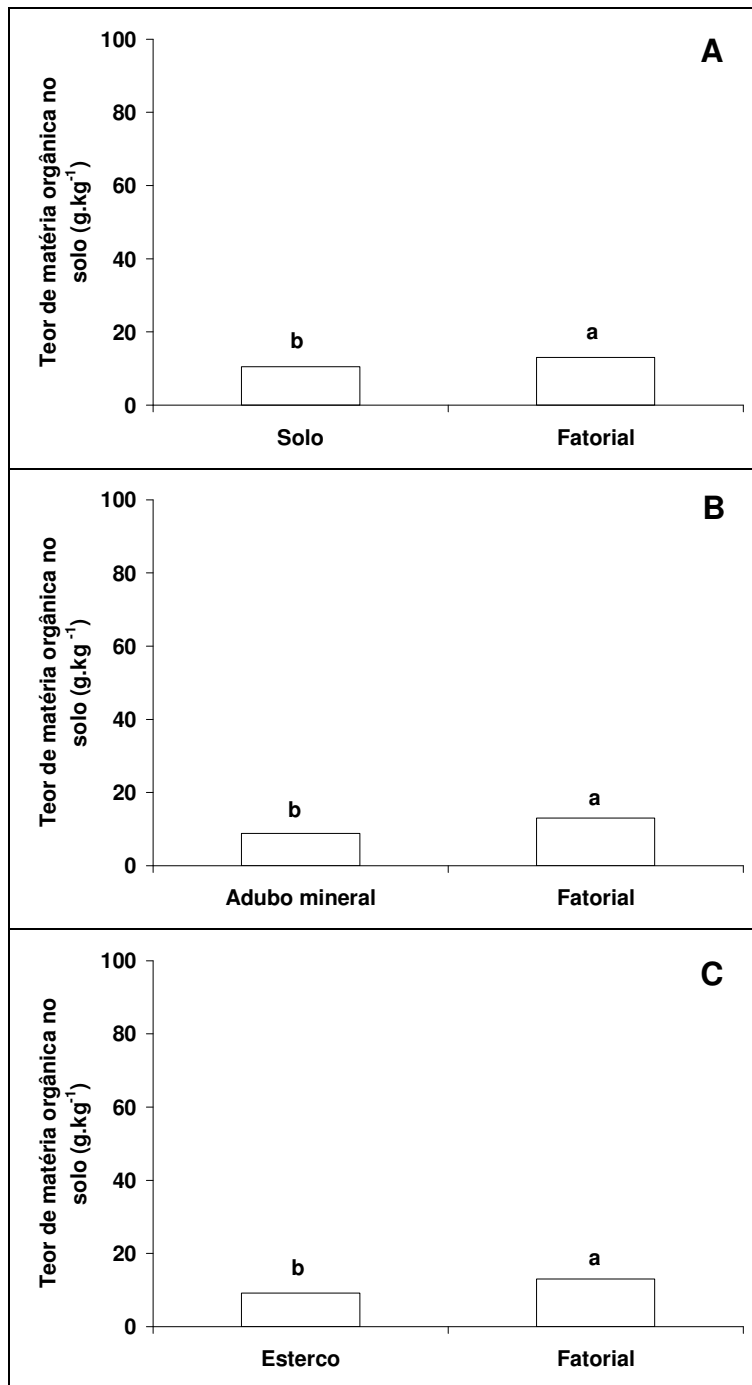


Figura 13-Teor de matéria orgânica do solo no final dos experimentos, submetido a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).

(32t/ha) de lodo de esgoto seco ao ar; Sergienko e Mosienko (1991) verificaram aumento da produtividade e da fertilidade do solo com a aplicação de lodo; Bataglia et al. (1983) citado por Melo et al. (2000), observaram que a aplicação de biossólidos no solo causou aumento da matéria orgânica. Melo et al. (2002) reportam que nos solos de textura grosseira (arenosos) a adição de material orgânico agrega as partículas do solo, formando torrões e possibilitando a retenção de maiores volumes de água. O biossólido pode contribuir, ainda, na melhoria da capacidade de troca de cátions (o reservatório de elementos nutritivos para as plantas), do poder tamponador de pH e no estímulo à atividade microbiana do solo.

Os maiores valores de pH (Tabela 7) foram obtidos com o solo proveniente dos tratamentos que receberam o lodo calado (pastoso). Estes resultados podem ser explicados considerando o alto valor de pH (12,5) alcançado para o lodo calado (pastoso) quando da realização da calagem. Berton et al. (1989) verificaram aumento de pH quando da utilização de lodo de esgoto seco ao ar a cinco solos do Estado de São Paulo, na cultura do milho. Tamiso et al. (2001), analisando o solo três meses após a colheita de alface, verificaram aumento de pH e diminuição do teor de boro, enquanto que nove meses após a colheita ocorreu uma redução no valor do pH, em consequência do aumento do teor de boro no solo, o valor inferior do pH pode ter disponibilizado este micronutriente para o solo. Melo et al. (2000) observaram aumento de pH do solo quando da aplicação por dois anos consecutivos de biossólidos. Krohling et al. (2000) verificaram aumento de pH decorrente da aplicação do lodo calado ao solo utilizado no estudo e, como consequência, ocorreu uma diminuição dos teores de micronutrientes (ferro, zinco, cobre, manganês e boro) dos substratos que receberam as maiores dosagens de lodo calado (50 e 60%). Entre testemunhas, os maiores valores foram alcançados quando o esterco bovino foi incorporado ao solo, em função do alto valor de pH apresentado para o esterco (8,4). A incorporação ao solo de resíduos orgânicos submetidos ao tratamento com cal promove a elevação do pH imediatamente após a aplicação e de forma mais intensa do que quando se aplicam resíduos orgânicos sem alcalinização. Ao mesmo tempo e de forma inversa, nesses casos, a acidez potencial do solo sofre decréscimo de acordo com as doses de resíduos que foram empregadas (Marques et al. 2002).

A caracterização química do solo no final do experimento possibilitou fazer as seguintes observações: a incorporação do lodo calado (pastoso) ao solo promoveu um maior valor de pH, e um maior teor de potássio; enquanto que a incorporação de lodo seco disponibilizou um maior teor de nitrogênio, sódio, alumínio, fósforo e de matéria orgânica. A consistência do lodo não exerceu influência na quantidade de cálcio disponibilizada para o solo. Em termos agronômicos, o lodo seco foi melhor que o lodo calado, atuando como fonte de nutrientes para as plantas e proporcionando maior benefício para o solo, no que concerne

ao aumento da matéria orgânica e, desta maneira, contribuindo para a melhoria das suas características químicas e biológicas.

Tabela 7 – Potencial hidrogeniônico (pH) (em água) do solo no fim dos experimentos para todos os tratamentos

Tratamento ⁽¹⁾ /Dose(kgN/ha)	I Bloco	II Bloco	III Bloco	IV Bloco
1 (Testemunha absoluta - solo)	6,1	6,3	5,8	5,6
2 (Testemunha com adubo mineral)	6,0	6,2	6,5	5,0
3 (Testemunha com esterco bovino)	6,5	6,7	6,6	5,9
4 (70)	6,8	7,4	7,3	6,3
6 (140)	8,0	7,7	7,8	7,3
8 (210)	8,3	8,0	8,2	7,8
10 (280)	8,1	8,2	8,2	7,8
12 (350)	8,2	8,2	8,2	5,9
5 (70)	6,2	6,5	6,2	5,9
7 (140)	6,3	6,4	5,6	5,9
9 (210)	6,3	6,6	6,8	6,2
11 (280)	6,6	6,4	6,8	6,2
13 (350)	6,1	6,5	6,1	5,9

⁽¹⁾ Tratamentos de números pares e ímpares receberam lodo pastoso (calado) e lodo seco, respectivamente.

5.1.2 Lodo

Com relação à caracterização bacteriológica (Tabela 8) do lodo constatou-se que o processo de calagem promoveu remoção de 100% dos indicadores fecais (CT e CF), indicando a eficácia do método. Entretanto a secagem não foi tão eficiente, promovendo reduções de 99,7%, 98,9%, 82,4% e 92,5% para os C.T, C.F, *E. coli* e E.F., respectivamente. De acordo com a recomendação da USEPA (1992), para um lodo ser classe B deve conter CF <10⁶/gST, portanto, para este lodo seco, apesar da redução obtida para CF (99,7%), o valor obtido (9,0x10⁶ UFC/100mL) não se enquadrava na recomendação da USEPA, necessitando de maior tempo de secagem, superior ao período de 20 dias desta pesquisa. Andraus et al (1998) realizaram um estudo avaliando a sobrevivência de bactérias entéricas do lodo do esgoto em solo agrícola e constaram que após 140 dias de incorporação a redução foi de 88,4% para os E.F; os CF foram encontrados na ordem de 10³ a 10⁶NMP/100g; comparada com os CF do lodo (10⁵ a 10⁸NMP/100g), houve redução. Para a caracterização parasitológica (Tabela 9), a concentração de ovos de helmintos do lodo digerido foi elevada (264ovos/gST) dos quais 55% (146ovos/gST) eram viáveis e 45% (118ovos/gST) inviáveis. A calagem, para invibialização dos ovos de helmintos, foi mais eficiente que a secagem, reduzindo em 62,5% (16-10ovos/gST) a viabilidade dos ovos de helmintos existentes no lodo. A secagem não foi tão eficiente (40%) na invibialização dos ovos de helmintos (10-4ovos/gST) em função do curto período de secagem, de vinte dias, sob temperatura ambiente que variou entre 26-38°C,

porém proporcionou um elevado estado de mineralização do lodo com teores de STV superiores a 413% (395g/kg), (Tabela 10). De acordo com a USEPA (1992) um lodo classe A deve apresentar CT 10^3/gST e ovos viáveis de helmintos $1/4$gST. No que tange à viabilidade, existem principalmente dois tipos de ovos de helmintos, os férteis ou fecundados e os inférteis ou não fecundados. De acordo com Rojas et al. (1998), um ovo fértil é considerado potencialmente viável, ou seja, capaz de desenvolver-se até a etapa infecciosa, podendo causar doença caso seja ingerido.

A presença de E.F. e CF indica risco potencial da presença de microrganismos patogênicos. Os estreptococos fecais constituem um grupo de bactérias reconhecidas como indicadores de contaminação fecal. O habitat normal deste grupo de bactérias é o trato intestinal humano e de outros animais homeotérmicos; engloba muitas espécies de bactérias que apresentam diferentes graus de resistência às variações ambientais. Em relação à origem fecal das bactérias, a espécie *Streptococcus faecalis* é exclusiva de fezes humanas. A maior resistência dos estreptococos aos fatores ambientais justifica a sua utilização em estudos que objetivem avaliar a eficácia dos processos de tratamento. O grupo dos coliformes fecais inclui os bacilos gram negativos aeróbios ou anaeróbios facultativos, que fermentam a lactose com produção de gás a 24-48 horas a 35°C. Sendo o principal componente deste grupo a *Escherichia coli*. São considerados indicadores, pois estão exclusivamente no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminados em grande número pelas fezes (aproximadamente 3×10^8 /grama). A presença de coliformes fecais indica risco potencial da presença de organismos patogênicos, visto que são mais resistentes que as bactérias patogênicas de origem intestinal. Portanto, justifica-se o uso deste indicador nos estudos de sanidade de lodo (Andraus et al. 1998). A SANEPAR (1999) adotou como indicadores da sanidade do lodo a concentração de coliformes fecais e a contagem e viabilidade de ovos de helmintos, sob a alegação de que, uma vez reduzidas as contagens desses dois microrganismos aos níveis previstos pela legislação, os outros estariam também eliminados ou em níveis admissíveis. Este fato é devido a maior resistência dos ovos de helmintos às condições ambientais adversas, o que garantiria a segurança para a utilização irrestrita do bioestabilizado no solo.

Tabela 8 - Caracterização bacteriológica do lodo no início do experimento

Determinações	Unidade	Valor		
		Lodo digerido	Lodo calado	Lodo seco
Coliformes totais	NMP/100g	$5,0 \times 10^9$	Ausente	$1,6 \times 10^7$
Coliformes fecais	NMP/100g	$8,0 \times 10^8$	Ausente	$9,0 \times 10^6$
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100g	$1,7 \times 10^5$	Ausente	$3,0 \times 10^4$
Estreptococos fecais	UFC/100mL	$7,6 \times 10^6$	Ausente	$5,7 \times 10^5$

Tabela 9 - Caracterização parasitológica do lodo no início do experimento

Determinações	Unidade	Lodo					
		Digerido		Calado		Seco	
		Valores	Variação (%)	Valores	Variação (%)	Valores	Variação (%)
Ovos de helmintos	nº ovos/g ST	264	--	16	--	10	--
Ovos viáveis	nº ovos/g ST	146	55,3	6	37,5	6	60
Ovos inviáveis	nº ovos/g ST	118	44,7	10	62,5	4	40

Tabela 10 - Caracterização física e química do lodo digerido conforme recebido e após ser submetido à calagem e a secagem ao ar

Determinações	Unidade	Lodo				
		Digerido	Calado	Variação (%)	Seco	Variação (%)
		Sólidos Totais Fixos (STF)	g/kg	73	165	126
Sólidos Totais Voláteis (STV)	g/kg	77	85	10	395	413
Sólidos Totais (ST)	g/kg	150	250	67	910	507
Umidade	%	85	75	-12	10	-88

De acordo com Pinto (2001), os helmintos e os vírus, após inativados, não são capazes de aparecerem novamente no lodo higienizado, a não ser nos casos de recontaminação externa. Por outro lado, bactérias patogênicas podem novamente aparecer no lodo por vários motivos, por exemplo, o lodo não está bem estabilizado, as condições ambientais (pH e temperatura) que conduziram a higienização já foram atenuadas e através de contaminação cruzada entre o lodo em processamento e o produto final higienizado. Para que esta situação não ocorra é preciso se manter as condições adequadas para a manutenção do pH que conduziram a higienização até o momento do transporte e disposição final, e evitar o contato de material em processo de higienização com material já higienizado.

Na literatura são descritos vários trabalhos sobre as diferentes condições de higienização de lodos através da calagem: Gaspard et al. (1996), citados por Thomaz-Soccol et al. (1999), realizaram pesquisas utilizando a calagem a 30, 40 e 50% do peso seco, em lodo proveniente de diferentes processos de tratamento. A calagem a 30 e 40% requer um tempo de estocagem do lodo de noventa dias para inviabilizar 100% dos ovos de *Ascaris sp.*; enquanto a 50% o mesmo percentual é alcançado em sessenta dias. Com relação à origem do lodo (aeróbio, anaeróbio, sedimentação primária ou aeração prolongada) não foi verificada nenhuma diferença significativa em relação ao tempo de estocagem necessário para a inviabilização dos ovos. Thomaz-Soccol et al. (1997) realizaram três experimentos objetivando avaliar a eficácia do processo de calagem (50%) na redução e viabilidade dos ovos de helmintos em amostras de lodo aeróbio digerido da ETE Belém, PR. A eficiência da calagem como método de higienização do lodo foi verificada nos três experimentos,

entretanto, a taxa de inativação dos ovos de helmintos após 60 dias foi variável (86 a 100%). Dois parâmetros se mostraram fundamentais na eficiência do processo para redução e viabilidade dos ovos de helmintos: o pH e o teor de matéria seca. O pH no momento da calagem deve ser superior a 12,5 e deve ser mantido nesta faixa por no mínimo um mês; as características do lodo têm efeito sobre a eficiência do tratamento, logo, o teor de matéria seca também deve ser considerado visando obter uma boa eficiência da calagem. Concentrações de matéria seca inferiores a 20% requerem maior tempo para redução da viabilidade dos ovos de helmintos. Os autores reportam que Polprasert & Valência (1981) observaram a sobrevivência dos ovos de helmintos em lodos após 48h expostos ao contato com cal. A inviabilização dos ovos começou a ser significativa após trinta dias de contato com a cal. Estas discrepâncias no tempo de inativação dos ovos podem estar relacionadas com o tipo de lodo utilizado que, segundo Metcalf & Eddy (1991), os agentes alcalinos alteram a natureza coloidal do protoplasma celular, produzindo, desta maneira, um efeito letal.

Os ovos de helmintos foram escolhidos como indicadores da sanidade do lodo por serem comprovadamente os microrganismos mais resistentes aos processos de higienização, significando que quando estes forem eliminados, outros microrganismos patogênicos, como por exemplo as bactérias, também estarão eliminadas. De acordo com Ferreira et al. (2002), há que ressaltar que mesmo uma contagem “zero” de helmintos não garante que o lodo esteja completamente livre dos ovos de helmintos, considerando que nenhuma das metodologias para quantificação garante um percentual de quantificação de 100% dos ovos eventualmente presentes nas amostras processadas.

Para que uma espécie possa sobreviver e multiplicar-se em determinado ambiente, necessita encontrar no meio todos os nutrientes e condições indispensáveis ao seu desenvolvimento. De acordo com Rey (1991), citado por Ferreira et al. (2002), as necessidades variam de espécie para espécie. No caso dos helmintos, dentre os agentes físicos mais importantes como fatores limitantes, destacam-se a temperatura, luz, oxigênio e água ou a umidade, esta diretamente relacionada com a temperatura. A ação da temperatura torna-se totalmente benéfica agindo contra os helmintos, visto que o aumento desta faz com que as enzimas, principalmente a albumina que faz parte da constituição do microrganismo, diminuam ou percam totalmente sua capacidade funcional, sendo sua estrutura totalmente modificada pelo efeito térmico. Ainda segundo Ferreira et al. (2002), a umidade juntamente com a incidência da luz solar e a temperatura, constituem importante fator limitante ao desenvolvimento do microrganismo.

Sobre a secagem, Ilhenfeld et al. (1999) reportam que, no momento em que um lodo é colocado em um leito de secagem, iniciam-se dois processos: a percolação (com lixiviação de

nutrientes) e a evaporação da água. Dependendo da região e suas condições climáticas de temperatura e vento, o lodo vai secando e evolui da forma líquida para a pastosa e desta para sólida. Observando-se o perfil do lodo, a parte superior seca mais rápido que a parte inferior. Por esta razão, quando a umidade média do lodo atinge teores abaixo de 85%, a superfície do lodo começa a apresentar rachaduras que vão evoluindo a medida em que a umidade média diminui. A partir de 65-70% de umidade, a parte superior do lodo torna-se impermeável e sólida, fica com a forma de um torrão, seco, apresentando baixíssimo peso em relação ao volume e relativa resistência ao quebramento. Neste estágio é interessante revolver o lodo e diminuir o tamanho dos torrões para que a secagem seja mais homogênea por todo o lodo, tanto na parte superior como na inferior, e consiga uma maior eficiência da exposição direta dos raios solares promovendo a inviabilização ou destruição dos microrganismos patogênicos. A secagem do lodo também viabiliza e aumenta a eficiência econômica do transporte, considerando que três fatores encarecem o transporte: o teor de sólidos (umidade), o número de operações de carregamento/descarregamento e o custo com o veículo (transporte propriamente dito).

A caracterização física e química do lodo digerido (Tabela 11) revelou um percentual de 54,05% de matéria orgânica; 3,7% de nitrogênio; 2,38% de P_2O_5 e 0,42% de K_2O . Verificou-se que a calagem proporcionou aumento do pH (de 7,5 para 12,1) e dos teores de K_2O (16,7%), óxidos de cálcio (960%), magnésio (143%), sólidos totais em 67% (Tabela 10) e diminuição do percentual de nitrogênio de 3,78%. Essa diminuição ocorreu em consequência da volatilização da amônia em decorrência da elevação do pH, e é mais acentuada em lodos digeridos anaerobicamente que contêm alta concentração de amônia gerada no processo de tratamento. O monitoramento do pH durante o processo da calagem mostrou uma variação em relação ao tempo de exposição: de 12,1 após 48h, até 12,5, aos 40 dias. O aumento nos teores de cálcio e magnésio pode ser explicado considerando que a cal utilizada possuía 52,64% de óxido de cálcio e 14,80% de óxido de magnésio; além disso, segundo Brady (1989), a adsorção do cálcio e do magnésio elevam a porcentagem de saturação de base do complexo coloidal e aumentam, de forma correspondente, o pH da solução do solo. Para Lue-Hing et al. (1992), uma das desvantagens da calagem é o aumento da massa do lodo ao final do tratamento, decorrente da adição da cal.

5.1.3 Esterco

A caracterização física e química do esterco (Tabela 12) revelou um percentual de 21,3 % de matéria orgânica; 0,73% de nitrogênio; 0,32% de P_2O_5 e 0,32% de K_2O . No

tratamento que recebeu o esterco bovino (Tabela 14) verificou-se aumento de CT (3100%) e CF (433%), o que já era esperado, considerando as características bacteriológicas do esterco (Tabela 13). Feachem et al. (1983) reportam que homens e animais de diversas partes do mundo excretam diferentes quantidades de coliformes e E.F, e que os E.F. de origem animal apresentam pequena sobrevivência ambiental e morrem antes dos CF, ao contrário dos E.F. de origem humana. Comparando os nutrientes contidos no esterco com os do lodo seco, verifica-se que o lodo seco tem um poder fertilizante maior que o esterco, principalmente no que concerne ao teor de nitrogênio (80,2%) e matéria orgânica (60,6%).

Tabela11 - Caracterização física e química do lodo no início do experimento

Determinações	Unidade	Lodo Digerido	Lodo Calado	
		Valores	Valores	Variação (%)
pH – H ₂ O (1:2,5)	--	7,5	12,1	61
Nitrogênio (N)	g/kg	37,0	35,6	- 3,8
Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	g/kg	23,8	26,1	9,7
Óxido de Potássio (K ₂ O)	g/kg	4,2	4,9	16,7
Óxido de Cálcio (CaO)	g/kg	15,4	163,3	960
Óxido de Magnésio (MgO)	g/kg	22,3	54,2	143
Matéria orgânica (M.O)	g/dm ³	540,5	401,1	- 26
Matéria mineral (M.M)	g/dm ³	391,9	542,8	39

Tabela 12 - Caracterização física e química do esterco bovino

Determinações							
pH(H ₂ O)	M.O. (g/dm ³)		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
(1:2,5)	Orgânica	Mineral	(g/kg)				
8,4	212,8	731,6	7,3	3,2	3,9	9,9	6,5

Tabela 13 - Caracterização bacteriológica do esterco bovino no início do experimento

Amostra	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	<i>Escherichia coli</i>	Estreptococos Fecais
	(NMP/100g)	(NMP/100g)	(NMP/100g)	(UFC/100mL)
Esterco bovino	2,8x10 ⁷	1,6x10 ⁶	7,0x10 ³	7,0x10 ⁵

Tabela 14 - Caracterização bacteriológica no início e no fim dos experimentos para o tratamento que recebeu esterco bovino

Amostra	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	<i>Escherichia coli</i>	Estreptococos Fecais
	(NMP/100g)	(NMP/100g)	(NMP/100g)	(UFC/100mL)
T3 (início)	5,0x10 ⁶	3,0x10 ⁶	9,0x10 ⁴	Ausente
T3 (fim)	1,6x10 ⁸	1,6x10 ⁷	Ausente	Ausente
	Aumento de 3100%	Aumento de 433%	Redução de 100%	--

5.1.4 Água de irrigação

De acordo com Holanda & Amorim (1997), as águas para irrigação são divididas em quatro classes de salinidade (C1, baixa; C2, média; C3, alta e C4, muito alta salinidade), à medida que aumenta a concentração de sais e, conseqüentemente, sua condutividade elétrica. Neste contexto, a água utilizada nos experimentos (Tabela 15) foi classificada como C₂, água de média salinidade, de acordo com os limites apresentados por Richards (1954), que pode ser usada sempre e desde que haja uma lixiviação moderada de sais, se adequando ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade. O algodoeiro é tolerante à salinidade do solo (Doorenbos & Kassam, 1994). A maior parte dos solos tem poder tamponador, ou seja eles resistem às mudanças de pH. Entretanto, a água utilizada na irrigação pode causar toxicidade às plantas e deficiência nos nutrientes. Por esse motivo, o pH ideal deverá estar na faixa de 6,5 a 8,4 (Ayres & Westcot, 1991), mas algumas flutuações podem ser toleradas. Segundo Ayres & Westcot (1991) os valores de cálcio (0-400mg/L), magnésio (0-60mg/L), potássio (0-78mg/L) nas águas de irrigação apresentam ampla variação. Para o cloreto, Molle & Cadier (1992) reportam que concentrações tóxicas estão entre 142 e 355mg/L e constituem perigo para a planta quando as concentrações ultrapassam este limite. Laraque (1991) destaca que o sódio se torna perigoso em concentrações entre 69 e 207mg/L e muito problemático acima desta faixa, devido a efeitos como queimaduras e necroses ao longo das bordas das folhas das plantas.

Tabela 15 - Caracterização física e química da água utilizada para irrigação

Determinações	Unidade	Valor
Potencial Hidrogeniônico (pH)	--	8,45
Condutividade Elétrica (C.E.)	µmho/cm	460
Sódio (Na ⁺)	mg/L	527,3
Potássio (K ⁺)	mg/L	3,86
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	19,91
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	7,20
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	mg/L	79,3
Carbonato (CO ₃ ⁼)	mg/L	Ausente
Sulfato (SO ₄ ⁻)	mg/L	20,80
Cloreto (Cl ⁻)	mg/L	405,5
Amônia (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,57
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0,94

5.2 Caracterização bacteriológica e parasitológica dos tratamentos que receberam lodo

No início do experimento, a variação de *E. coli* em todos os tratamentos (Tabelas 16 e 17) foi elevada (da ordem de 10³ - 10⁷), sendo que, naqueles que receberam lodo seco os valores foram superiores (10⁵ - 10⁷), haja vista a concentração deste microrganismo ter sido elevada já na caracterização bacteriológica do lodo seco. No final do experimento (7 meses),

não foi detectada a presença deste microrganismo, por se tratar de um microrganismo exclusivo do trato intestinal humano e estar exposto ao ambiente externo, desfavorável à sua sobrevivência. Não foi detectada a presença de E. F. em nenhum dos tratamentos.

O tratamento que recebeu a segunda dose (140kgN/ha) de lodo seco promoveu a maior redução de CT (99,95%) e de CF (99,99%), sendo equivalente ao tratamento que recebeu a quarta dose (280kgN/ha) de lodo calado que também proporcionou uma redução de CF de 99,99% (Tabelas 16 e 17). Todavia, a qualidade bacteriológica destes tratamentos ainda é elevada, distante daquela recomendada pela USEPA (1992). De maneira geral, independe do tipo de lodo incorporado ao solo (seco ou calado), houve um aumento da concentração dos microrganismos no solo, com a elevação das doses de lodo. A incorporação da matéria orgânica possibilita uma resposta pronunciada da população de microrganismos à aplicação de nutrientes. A densidade de todos os grupos de organismos varia em função das características edáficas e climáticas específicas de cada ambiente; as bactérias, de maneira geral, representam o grupo mais numeroso. Segundo Moreira e Siqueira (2002), o solo é o maior reservatório dos nutrientes essenciais aos organismos, estes são componentes importantes do protoplasma de todos os organismos vivos. Os organismos edáficos apresentam elevada diversidade metabólica e fisiológica, o que os tornam extremamente versáteis para ocupação dos diversos nichos ecológicos.

Tabela 16 - Caracterização bacteriológica no início e no fim dos experimentos para os tratamentos que receberam lodo seco

Tratamento/ Dose (kgN/ha)	Coliformes Totais			Coliformes Fecais			<i>Escherichia coli</i>		Estreptococos Fecais	
	NMP/100g			NMP/100g			NMP/100g		NMP/100g	
	Início	Fim	Redução	Início	Fim	Redução	Início	Fim	Início	Fim
T5 (70)	5,0x10 ⁷	5,0x10 ⁷	100,0	5,0x10 ⁷	1,7x10 ⁷	66,0	5,0x10 ⁷	ausente	ausente	ausente
T7 (140)	1,1x10 ⁹	6,0x10 ⁵	99,95	1,1x10 ⁹	1,4x10 ⁵	99,99	9,0x10 ⁵	ausente	ausente	ausente
T9 (210)	9,0x10 ⁸	2,4x10 ⁷	97,30	1,7x10 ⁸	8,0x10 ⁴	99,95	5,0x10 ⁵	ausente	ausente	ausente
T11 (280)	2,2x10 ⁹	2,2x10 ⁷	99,00	5,0x10 ⁸	2,8x10 ⁶	99,44	1,1x10 ⁷	ausente	ausente	ausente
T13 (350)	5,0x10 ⁸	3,0x10 ⁸	40,0	9,0x10 ⁷	1,1x10 ⁸	+22,2	1,1x10 ⁷	ausente	ausente	ausente

Tabela 17 - Caracterização bacteriológica no início e no fim do experimento para os tratamentos que receberam lodo calado

Tratamento /Dose (kgN/ha)	Coliformes Totais			Coliformes Fecais			<i>Escherichia coli</i>		Estreptococos Fecais	
	NMP/100g			NMP/100g			NMP/100g		NMP/100g	
	Início	Fim	Redução	Início	Fim	Redução	Início	Fim	Início	Fim
T4 (70)	≥1,6x10 ⁸	1,4x10 ⁷	91,25	9,0x10 ⁷	1,4x10 ⁷	84,4	2,1x10 ³	ausente	ausente	ausente
T6 (140)	≥1,6x10 ⁸	3,5x10 ⁷	78,12	9,0x10 ⁷	1,7x10 ⁷	81,1	2,4x10 ⁴	ausente	ausente	ausente
T8 (210)	1,7x10 ⁹	1,7x10 ⁶	99,90	7,0x10 ⁸	1,7x10 ⁶	99,76	5,0x10 ⁴	ausente	ausente	ausente
T10 (280)	5,0x10 ⁹	1,6x10 ⁸	96,80	1,6x10 ⁹	2,4x10 ⁵	99,99	2,0x10 ³	ausente	ausente	ausente
T12 (350)	3,0x10 ⁹	5,0x10 ⁶	99,83	3,0x10 ⁹	2,2x10 ⁶	99,93	1,7x10 ⁵	ausente	ausente	ausente

5.3 Teores de metais pesados no solo, lodo seco e calado

Os resultados das análises de metais pesados determinados nas amostras de solo e lodo (seco e calado) estão na Tabela 18. Os valores ficaram muito aquém da concentração máxima permissível para uso agrícola do lodo, de acordo com a concentração máxima permissível de metais pesados nos lodos de esgotos para uso agrícola (Tabela 2). Com relação ao lodo, os valores encontrados eram esperados, considerando que o esgoto da cidade de Campina Grande, PB, é predominantemente doméstico, com poucas indústrias lançando águas residuárias na rede coletora. Comparando-se os valores obtidos para o lodo (seco e calado), verificou-se que o lodo calado apresentou teores um pouco mais elevados de chumbo (70mg/kg), magnésio (14mg/kg) e manganês (100mg/kg); para o lodo seco, os teores maiores foram de cobre (263mg/kg), cromo (27mg/kg), enxofre (12mg/kg), ferro (16mg/kg), mercúrio (1,285mg/kg), molibdênio (7,3mg/kg) e níquel (19mg/kg). Com relação ao teor de zinco, o valor encontrado para o lodo seco (660mg/kg) foi muito elevado quando comparado ao do lodo calado (<1,5mg/kg). Esse resultado corrobora com o obtido por Pedroza (2002) na análise do lodo (digerido e calado) proveniente do mesmo reator. Esses resultados (seco e calado) talvez possam ser explicados considerando as reações complexas que norteiam a disponibilidade dos metais pesados no lodo e que são influenciadas pela calagem.

Silva et al. (2001a), analisando os teores de metais pesados em amostras de lodo, observaram que alguns metais tendem a se concentrar no lodo em proporções muito maiores que outros, porém em pequenas concentrações na fase líquida e expressivas na massa seca de lodo. Os autores citam que este fato ressalta um problema operacional importante, que é o limite de detecção e precisão dos métodos analíticos convencionais utilizados nos laboratórios de monitoramento, visto que muitas vezes os metais não são detectados de forma precisa na fase líquida. Uma medida preventiva seria exigir um tratamento eficaz para a remoção de metais pesados dos efluentes industriais que reconhecidamente geram efluentes contaminados, antes do seu lançamento na rede coletora de esgotos.

Tsutiya (2002) cita que algumas características físicas e químicas do bio sólido são alteradas pela adição da cal. Com relação ao aspecto físico, a adição da cal forma uma camada mais dura e branca ao redor do bio sólido quando exposto ao ar livre; no aspecto químico, além da fixação dos metais pesados, pode haver complexação do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia. Este mesmo autor (1999b) reportou que a possibilidade de contaminação do lençol freático decorrente da aplicação de bio sólidos contendo grande concentração de metais pesados é uma das principais preocupações do uso agrícola. Contudo, a manutenção da matéria orgânica no solo é fundamental para aumentar a retenção dos metais pesados, visto que, esses formam complexos com compostos orgânicos,

principalmente ácidos húmicos e fúlvicos, diminuindo sua disponibilidade e toxidez para as plantas e sua mobilidade no solo.

Tabela 18 - Teores de metais pesados no solo, lodo seco e lodo calado utilizados nos experimentos

Determinações	Unidade (em base seca)	Amostras			USEPA ⁽¹⁾
		Solo	Lodo Seco	Lodo Calado	
Cádmio (Cd)	mg/kg	< 1	< 1	< 1	85
Cobre (Cu)	mg/kg	< 1,5	263	193	4300
Cromo (Cr)	mg/kg	< 2,5	27	14	--
Chumbo (Pb)	mg/kg	< 25	60	70	840
Enxofre (S)	mg/kg	< 0,05	12	8,8	--
Ferro (Fe)	mg/kg	0,456	16	2,7	--
Magnésio (Mg)	mg/kg	0,042	3,3	14	--
Manganês (Mn)	mg/kg	10	94	100	57
Mercúrio (Hg)	mg/kg	< 0,01	1,285	0,285	57
Molibdênio (Mo)	mg/kg	< 3,5	7,3	< 3,5	75
Níquel (Ni)	mg/kg	< 2,5	19	14	420
Zinco (Zn)	mg/kg	< 1,5	660	< 1,5	7500

⁽¹⁾ Teores máximos permitíveis de metais pesados nos lodos para uso agrícola de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA).

De acordo com Melo et al. (2002), o pH é a propriedade do solo que interfere de forma mais intensa na disponibilidade dos metais, exceto para o arsênio, molibdênio e selênio e em alguns estados de valência do cromo, os metais pesados têm suas disponibilidades reduzidas quando do aumento desta propriedade, em decorrência da formação de precipitados, aumento da intensidade de adsorção aos colóides do solo e por conferir maior estabilidade aos complexos que se formam entre os metais e a fração húmica dos solos. De maneira geral, a elevação ou a manutenção do pH do solo em níveis próximos da neutralidade constitui-se no procedimento que tem sido adotado para o controle e monitoramento da disponibilidade de metais pesados nos solos. A composição do biossólido em termos de metais pesados varia com o nível sócio-econômico e cultural da população e o grau de industrialização da região.

Através dos resultados obtidos permite-se dizer que este lodo pode ser considerado de boa qualidade para reciclagem agrícola no que concerne aos teores de metais pesados.

5.4 Caracterização física e química do líquido percolado

As características do líquido percolado variaram em função do tipo e da consistência de lodo (seco e calado-pastoso) aplicado às unidades experimentais (Tabela 19). As maiores variações em relação à testemunha absoluta, foram observadas naquelas que receberam as maiores doses de lodo seco (350kgN/ha) (Tabela 20). As amostras compostas foram coletadas

mensalmente, apresentando uma coloração escura, que variou do castanho-claro ao castanho-escuro. Os valores de pH obtidos situaram-se na faixa de 6,5 a 8,4.

Apesar do alto valor encontrado para o sódio na água de irrigação (527mg/L, Tabela 15), o solo serviu como um meio depurador para a redução deste íon (65mg/L para o tratamento testemunha). O líquido percolado dos tratamentos que receberam lodo seco apresentou as maiores concentrações de sódio (166 – 259mg/L), quando comparado com os tratamentos que receberam o lodo calado (78 – 134mg/L). Com relação ao nitrogênio, a maior concentração observada foi na forma de nitrato, com valores mais elevados no líquido percolado proveniente dos tratamentos onde o lodo seco foi incorporado.

De maneira geral, pode-se dizer as maiores variações foram obtidas quando da utilização do lodo seco e na dosagem mais elevada (350kgN/ha). Os valores mais representativos foram para a condutividade elétrica, com aumentos de 97% (lodo calado) a 326% (lodo seco), cujos valores obtidos classificam o líquido como de alta salinidade; para os íons cloretos e sódio, os aumentos foram de 123% (lodo calado) a 538% (lodo seco) e 106% (lodo calado) a 298% (lodo seco), respectivamente, o que poderá elevar os riscos de salinização do solo e a provável deterioração das águas subterrâneas. Neste contexto e nas condições desenvolvidas nesta pesquisa, é importante, quando da utilização de biossólidos, fazer um monitoramento da salinidade do solo.

Tabela 19 - Valores médios das variáveis físicas e químicas determinadas na água de irrigação, na testemunha e no líquido percolado proveniente dos tratamentos que receberam lodo calado e lodo seco

Determinações Físicas/Químicas	Água de Irrigação	Testemunha	Lodo Calado					Lodo Seco				
			Doses (kgN/ha)					Doses (kgN/ha)				
			70	140	210	280	350	70	140	210	280	350
pH	8,45	7,03	7,42	7,47	7,12	7,05	7,02	7,15	6,71	6,35	5,72	5,85
C. E. (µmho/cm)	460	734	865	1114	1222	1334	1443	1838	2892	2798	2554	3130
Bicarbonato(mgHCO ₃ ⁻ /L)	79,3	23,0	24,5	35,2	29,0	33,6	33,6	29,1	27,5	29,0	39,7	32,1
Cloreto (mgCl ⁻ /L)	405,5	533	750	893	989	1188	1122	2163	3401	2806	2114	3057
Cálcio (mgCa ⁺ /L)	19,91	30,0	43	52	61	72	78	104	223	225	211	265
Magnésio(mgMg ⁺⁺ /L)	7,2	8,0	5,0	15,0	14,0	13,0	21,0	18,0	10,0	18,0	18,0	42,0
Fósforo Total(mgP/L)	--	0,087	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,07	0,12	0,11	0,15
Ortofosfato (mgP/L)	--	0,01	0,014	0,011	0,015	0,006	0,012	0,01	0,01	0,01	0,009	0,007
Nitrato (mgNO ₃ /L)	0,94	1,13	1,05	5,54	6,87	6,71	8,26	7,43	11,26	12,58	8,75	26,82
Amônia (mgNH ₄ /L)	0,57	1,11	1,16	1,40	1,90	2,01	2,83	0,80	2,15	6,71	8,63	9,70
Potássio (mgK ⁺ /L)	3,86	32	33	38	41	44	46	41	50	55	55	60
Sódio (mgNa ⁺ /L)	527,3	65	78	101	111	134	126	166	235	235	184	259
Sulfato (mgSO ₄ /L)	20,8	1633	1501	1798	1890	1866	1893	2015	2535	2383	2477	2805

Tabela 20 - Variações ocorridas nas variáveis físicas e químicas do líquido percolado proveniente dos tratamentos que receberam lodo calado e lodo seco

Determinações Físicas/Químicas	Testemunha Absoluta	Lodo Calado			Lodo Seco		
		Valor	Dose (kgN/ha)	Variação (%)	Valor	Dose (kgN/ha)	Variação (%)
C. E. ($\mu\text{mho/cm}$)	734	1443	350	97	2892	350	326
Bicarbonato ($\text{mgHCO}_3^-/\text{L}$)	23,0	35	140	53	40	280	73
Cloreto (mgCl^-/L)	533	1188	280	123	3401	140	538
Cálcio (mgCa^+/L)	30,0	78	350	160	265	350	783
Magnésio ($\text{mgMg}^{++}/\text{L}$)	8,0	21	350	162	42	350	425
Fósforo Total (mgP/L)	0,087	0,04	210=350	-54	0,15	350	72
Ortofosfato (mgP/L)	0,01	0,015	210	50	0,01	280	10
Nitrato (mgNO_3/L)	1,13	8,3	350	634	26,8	350	2272
Amônia (mgNH_4/L)	1,11	2,8	350	152	9,7	350	774
Potássio (mgK^+/L)	32	46	350	44	60	350	87
Sódio (mgNa^+/L)	65	134	280	106	259	350	298
Sulfato (mgSO_4/L)	1633	1893	350	16	2805	350	72

5.5 Variáveis Estudadas

Os resultados das análises de crescimento e desenvolvimento serão discutidos a seguir:

5.5.1 EXPERIMENTO I - ALGODÃO



Figura 14—Planta do algodoeiro herbáceo BRS-verde, em casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão.

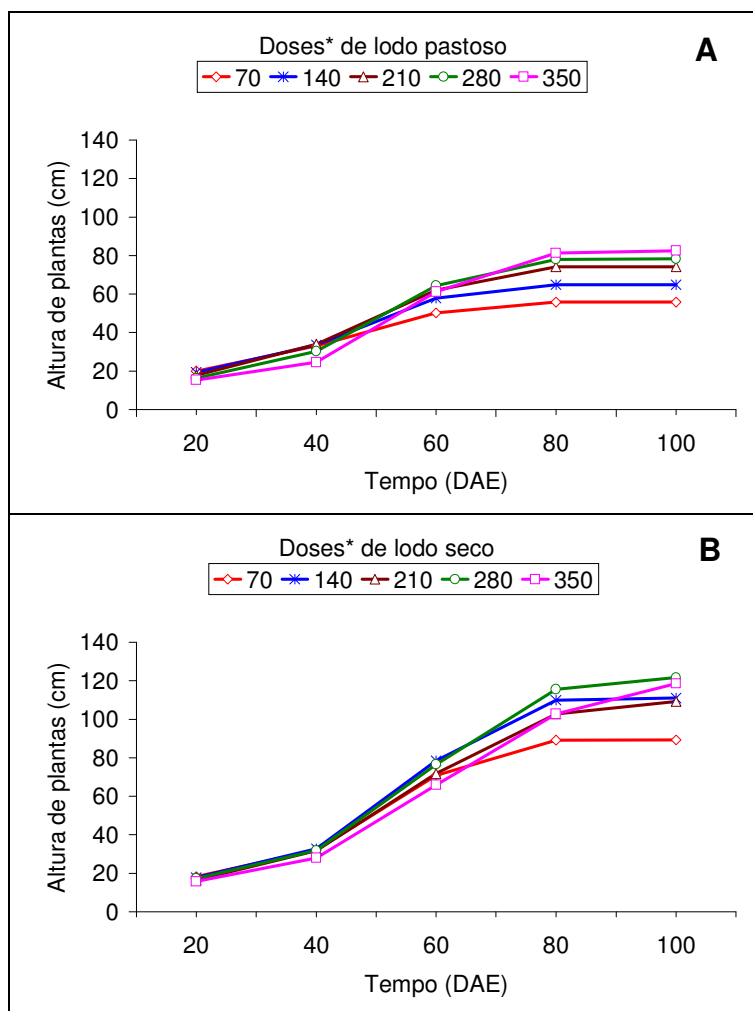
5.5.2 Análise de crescimento

Os dados referentes à altura e ao diâmetro de plantas de algodoeiro, avaliados nas diferentes fases (dos 20 aos 100 dias após a emergência) do ciclo cultural, encontram-se nas Figuras 15 e 16. Verificou-se, a partir dos 60 dias de emergência nos tratamentos que receberam lodo seco, que houve maior crescimento e diâmetro das plantas em todas as doses estudadas, quando comparadas à utilização do lodo calado. Portanto, a resposta do algodoeiro à aplicação do lodo seco para essas variáveis foi satisfatória. Ressalta-se ainda que este efeito foi mais pronunciado para altura de plantas, quando estas foram avaliadas aos 80 e 100 dias após a emergência.

Os dados da análise de variância encontram-se na Tabela II (Anexo).

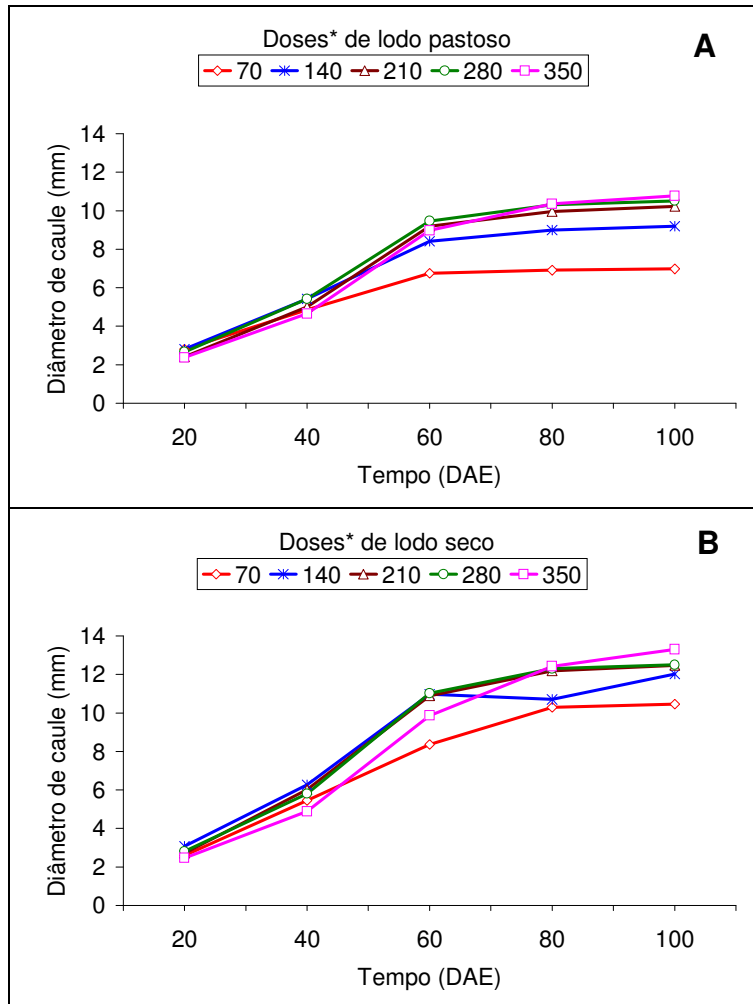
Os resultados referentes à altura final de plantas, determinada aos 120 dias após a emergência, encontram-se nas Figuras 17 e 18. Com base nas duas consistências de lodo estudadas, o maior crescimento em altura foi obtido para as plantas cultivadas com lodo seco (Figuras 17A e B). De acordo com as doses empregadas, constata-se que estas se ajustaram a um modelo linear quando se aplicou o lodo calado (pastoso) (Figura 17A). As plantas cultivadas com lodo seco, apesar de não terem se ajustado a nenhum modelo estudado, se destacaram daquelas que receberam lodo calado (pastoso) em todas as doses (Figura 17A) e dentro de cada dose estudada (Figura 17B). O contraste do fatorial versus testemunha isoladamente, mais uma vez destaca a superioridade do fatorial (Figura 18A, B e C). Entre testemunhas (Figura 18D), maior crescimento em altura foi obtido para as plantas cultivadas mineralmente e com esterco, os quais diferiram significativamente das plantas que receberam só o solo (testemunha absoluta).

Para o crescimento caulinar (diâmetro) destacou-se mais uma vez a superioridade das plantas cultivadas com lodo seco (Figuras 19A e B), cujas doses se ajustaram ao modelo polinomial de efeito linear, onde o aumento das doses contribuiu para incrementar o diâmetro caulinar em 0,08mm. Para o lodo calado (pastoso) as doses se ajustaram a um modelo polinomial de efeito quadrático com o máximo de diâmetro caulinar (11mm) para a dose de 294kgN/ha (Figura 18A). A análise realizada para o fatorial versus testemunha e, também entre testemunhas, apresenta respostas semelhantes aos obtidos para a variável altura de plantas (Figuras 20A, B, C e D).



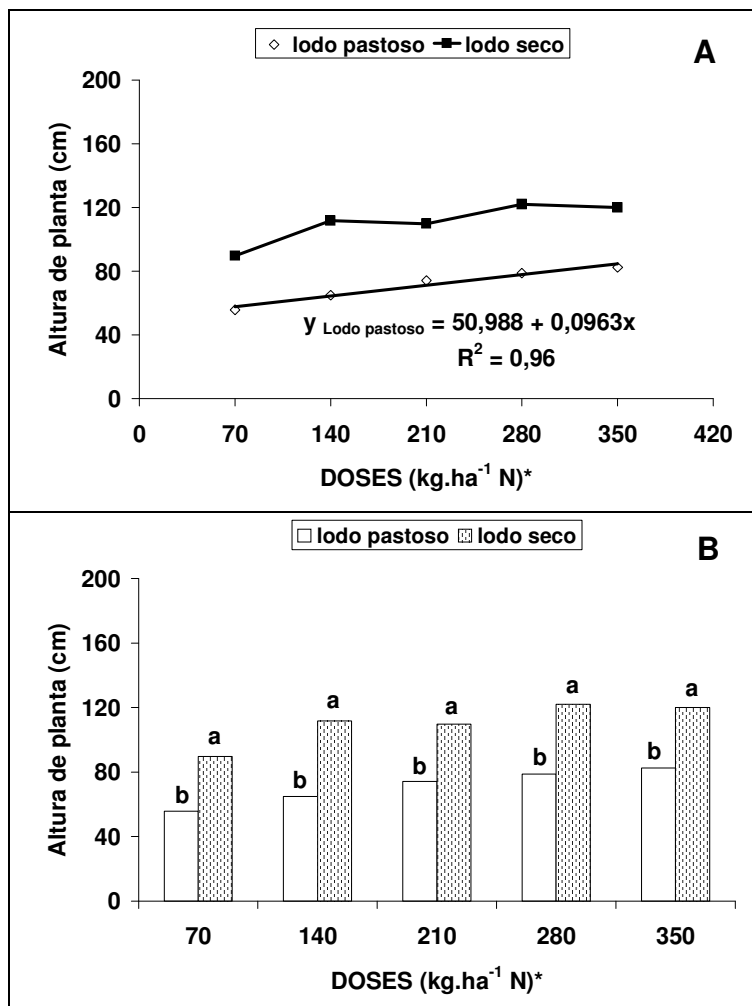
* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha.

Figura 15-Altura de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes consistências e doses de lodo, em condições de casa de vegetação. A = lodo calado (pastoso) e B = lodo seco.



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha.

Figura 16-Diâmetro de caule de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes consistências e doses de lodo, em condições de casa de vegetação. A = lodo calado (pastoso) e B = lodo seco.



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha.

Figura 17-Altura final de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

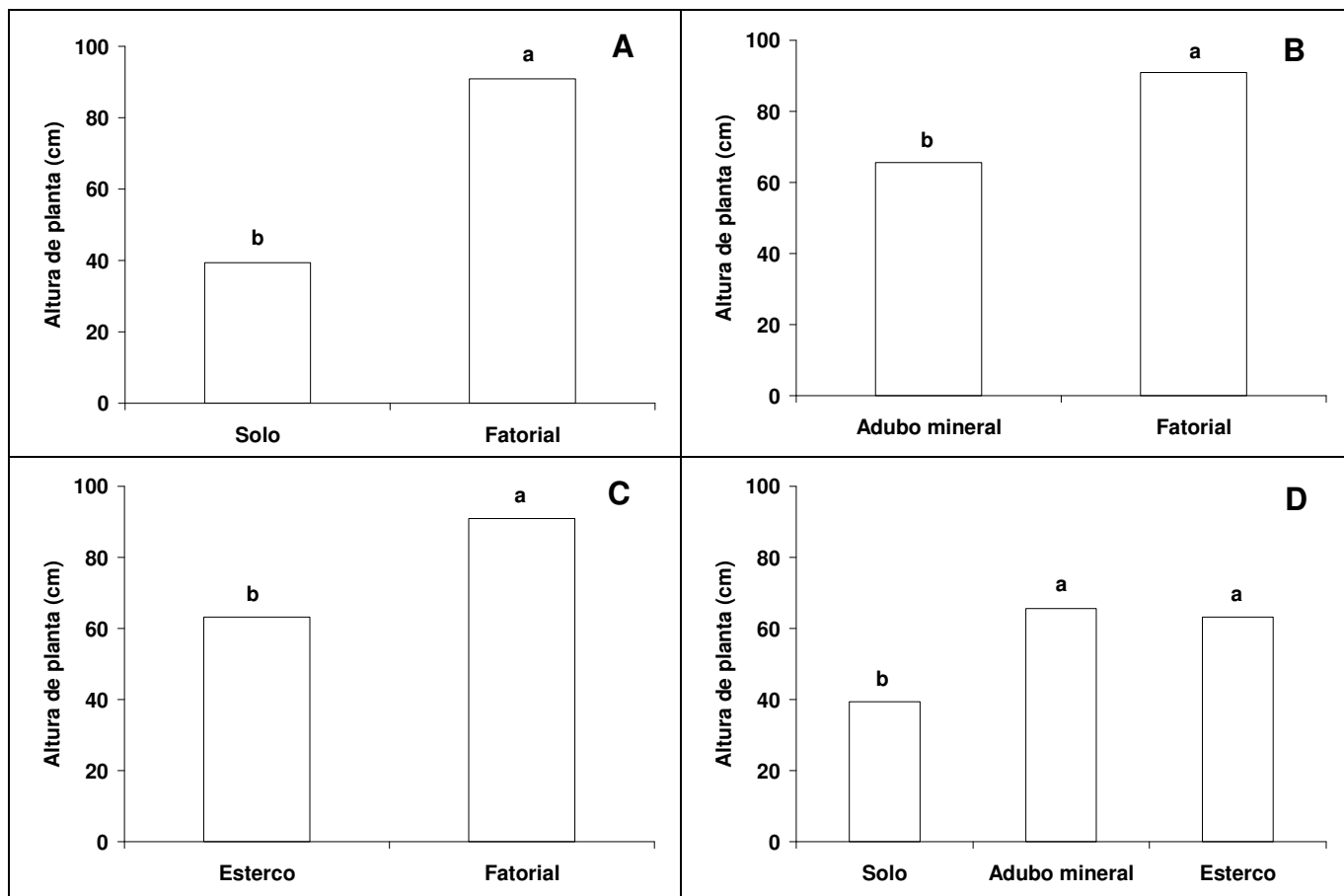
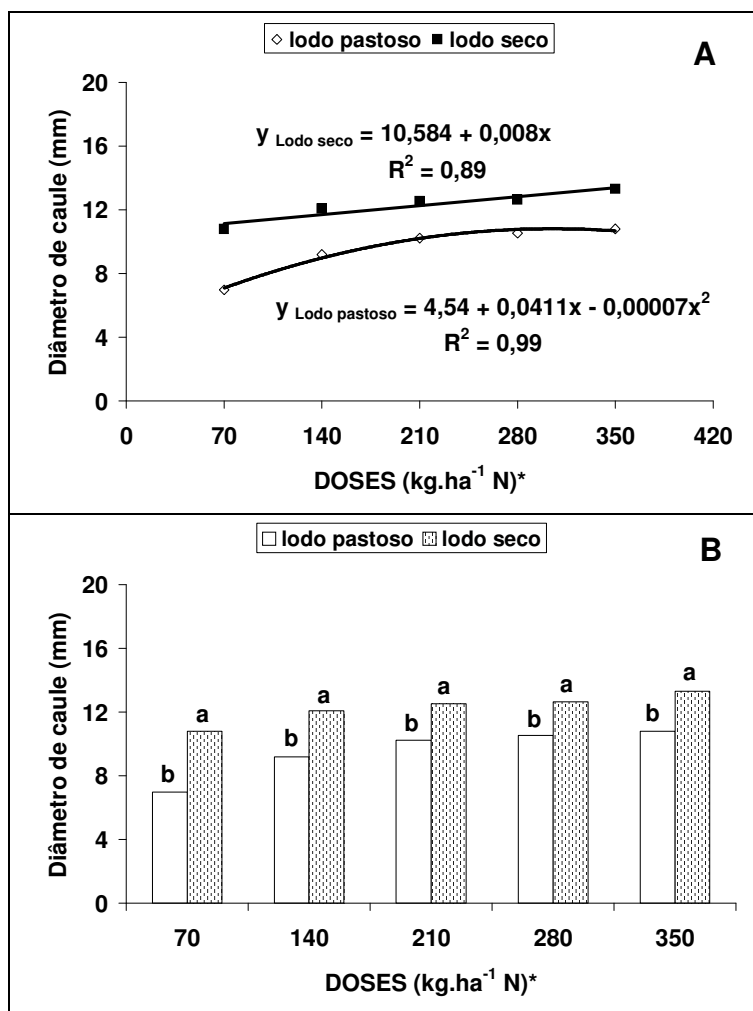


Figura 18-Altura final de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha.

Figura 19-Diâmetro final de caule em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

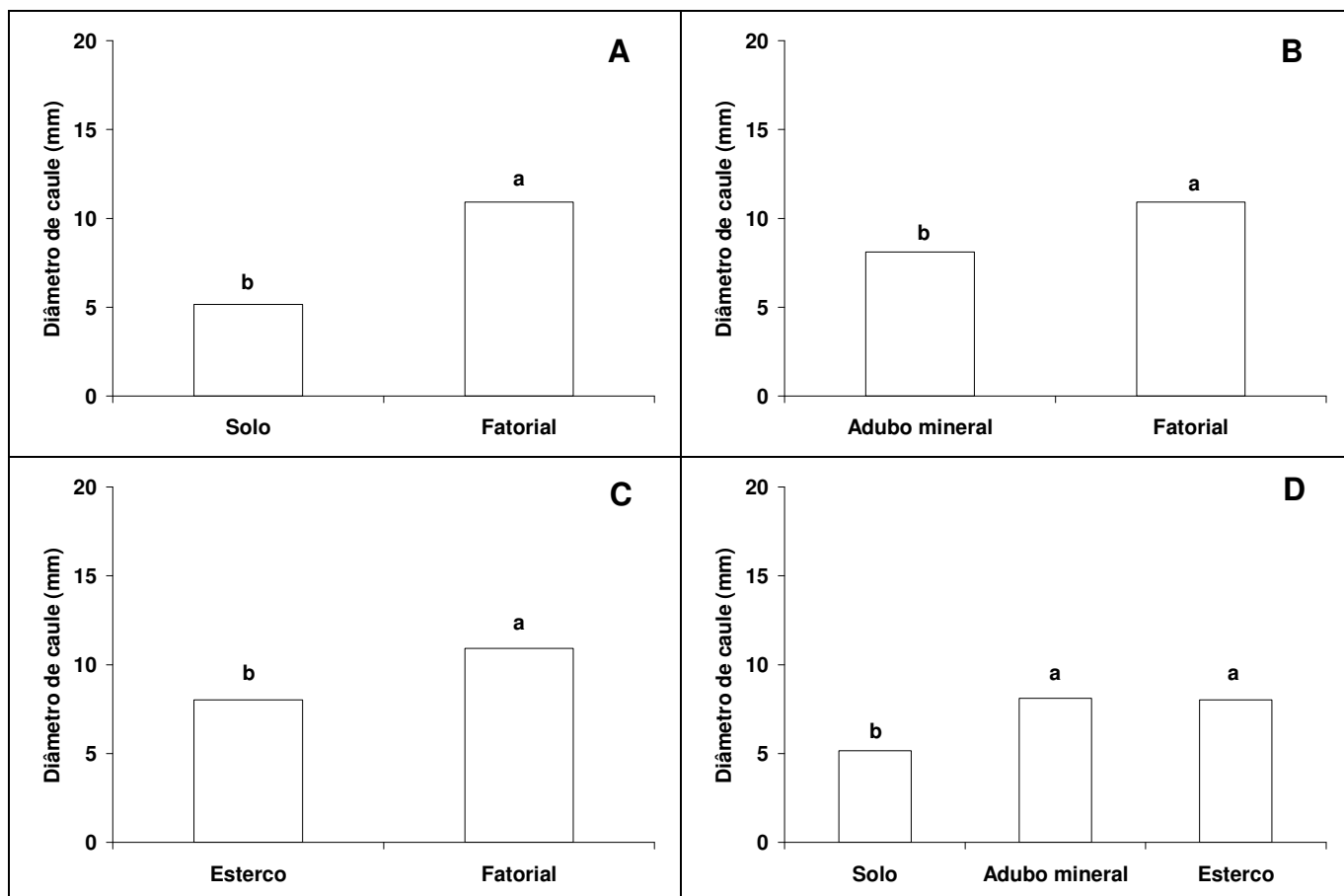


Figura 20-Diâmetro de caule em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.

5.5.3 Fitomassa

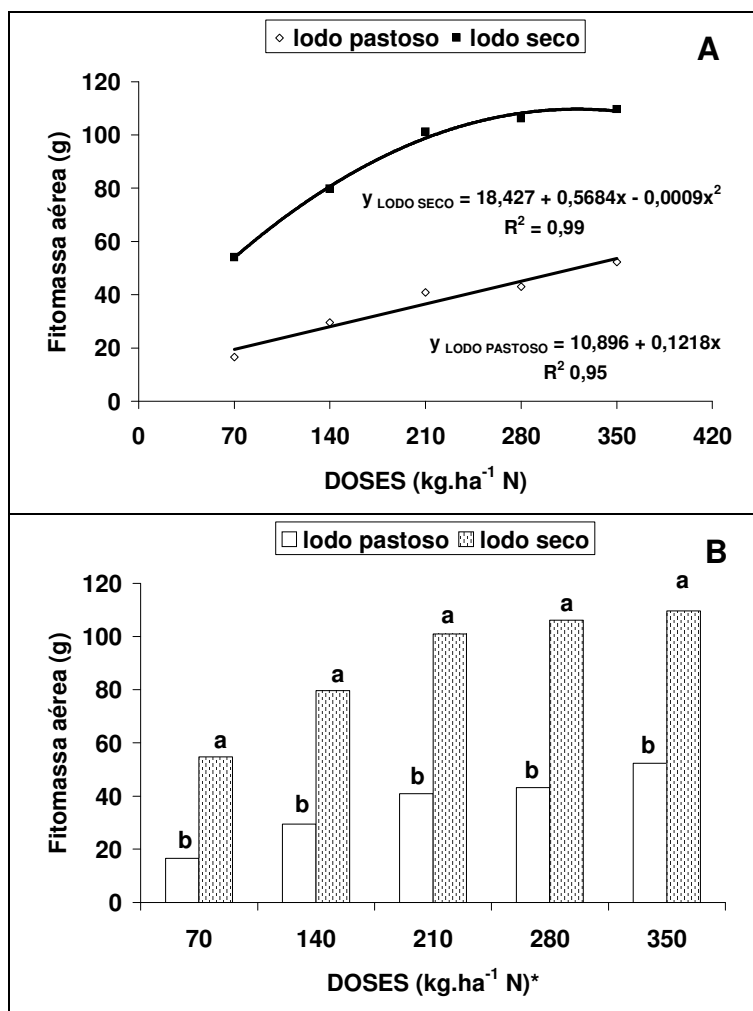
⇒ Fitomassa aérea

Para esta variável, os dados mostraram respostas significativas para todos os fatores estudados (Tabela II - Anexo). A interação dose x consistência de lodo ($p \leq 0,05$) mostra que as plantas cultivadas na presença do lodo seco produziram massa seca aérea superior àquelas que receberam o lodo calado (pastoso), em cada dose estudada (Figura 21B). Quanto às doses aplicadas para cada consistência de lodo (Figura 21A), o emprego de lodo seco se ajustou ao modelo quadrático, obtendo-se o máximo de fitomassa aérea (108g), correspondente à dose 316kgN/ha de lodo seco. Quanto às doses de lodo calado (pastoso), a produção de fitomassa aérea cresceu linearmente com o aumento das doses empregadas ($R^2=0,95$); apesar destes resultados serem bem inferiores aos obtidos com o lodo seco, ou seja, 52g para a dose de 350kgN/ha. Com relação ao contraste do fatorial versus testemunha (Figura 22A, B e C), mais uma vez denota-se a superioridade do fatorial em relação a cada testemunha estudada. Resultados semelhantes foram obtidos com a variável rendimento em pluma (Figura 30A, B e C).

⇒ Fitomassa radicular

O emprego dos dois tipos de lodo (seco e calado) não contribuiu para o aumento da fitomassa radicular (Figura 23,A e B), com exceção da utilização da menor dose (70kgN/ha), onde mais uma vez se destaca o lodo seco. Na comparação entre as testemunhas isoladamente, o máximo de fitomassa radicular foi obtido quando se empregou o fatorial em relação à cada testemunha (Figura 24,A, B e C). Comparando-se as testemunhas (Figura 24D), percebeu-se que o máximo e o mínimo de fitomassa radicular foram obtidos com o emprego do adubo mineral e solo (testemunha absoluta).

Outros autores reportaram aumentos em matéria seca (da parte aérea, do sistema radicular e total) para diferentes culturas quando da incorporação do lodo de esgoto: Bettioli et al. (1983) concluíram que a produção de matéria seca de raízes de milho no tratamento com 9t/ha de lodo apresentou tendência a ser superior à adubação mineral; Berton et al. (1989) verificaram que a produção de matéria seca do milho foi superior nos tratamentos com lodo; Solo'ev & Khomyakov (1989) obtiveram alta produção de biomassa em árvores jovens de maçã quando da aplicação de 300t/ha de lodo; Radwan (1991) obteve aumento de massa seca, número e peso de 1000 sementes de girassol quando da incorporação do lodo em teores superiores a 40% em peso; Krohling et al. (2000) verificaram que a dosagem de 30% do lodo



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo/ha.

Figura 21-Fitomassa aérea em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

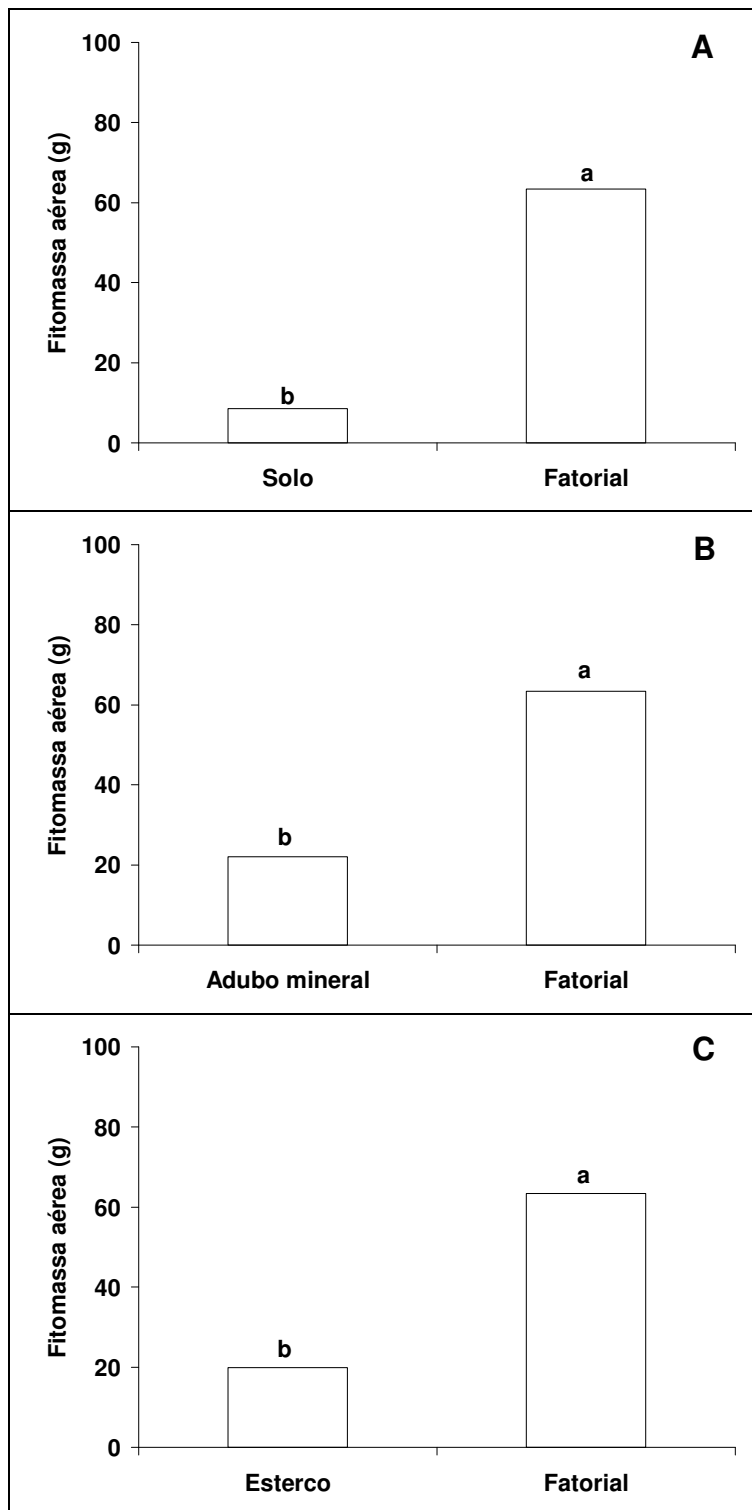
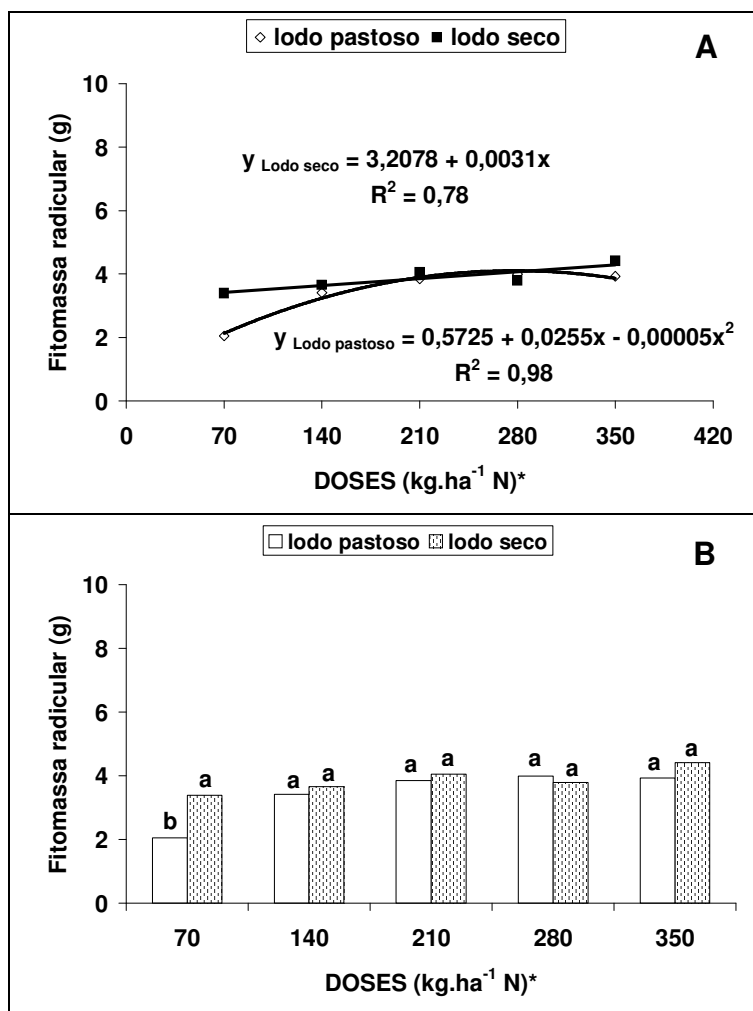


Figura 22-Fitomassa aérea em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha.



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 23-Fitomassa radicular em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

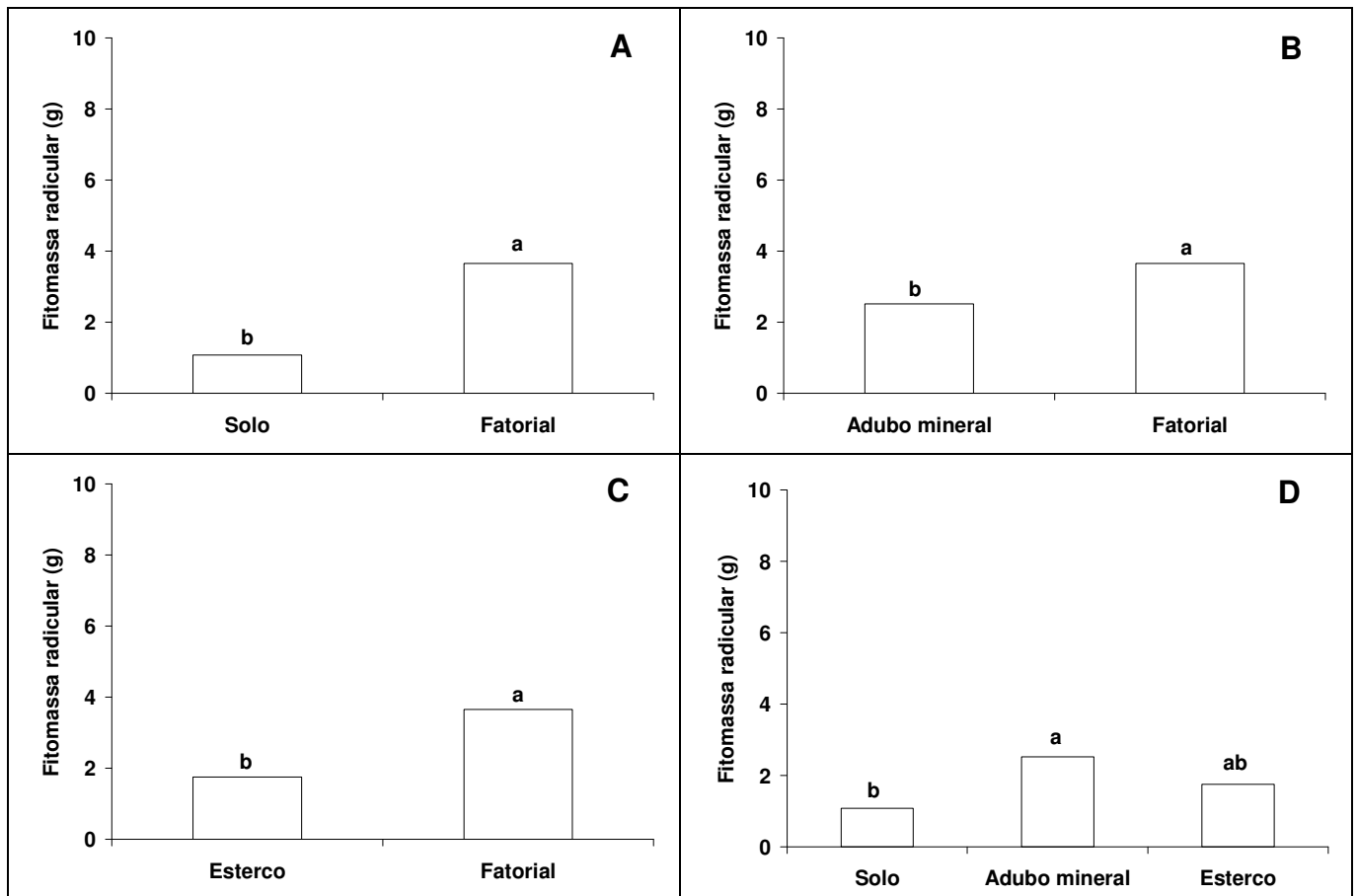


Figura 24-Fitomassa radicular em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.

promoveu um maior aumento de matéria seca, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular e da matéria seca total de mudas de café. Marques et al. (2002) reportam que Berton et al. (1997) observaram aumento na produção de matéria seca em plantas de milho quando da aplicação de biossólidos, associados ou não à calagem, porém o efeito foi maior na ausência de calagem.

5.5.4 Produção

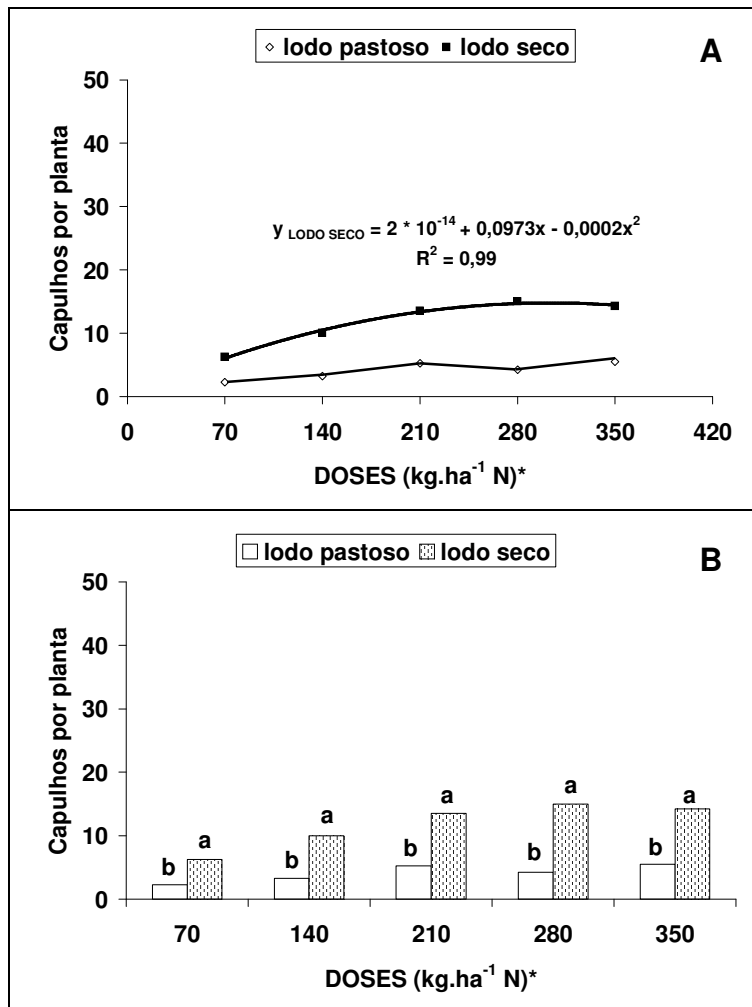
Para as variáveis número de capulhos, rendimento (pluma + semente), rendimento em pluma e percentagem de pluma, estas expressaram, de um modo geral, respostas significativas para todos os fatores estudados (Tabela II - Anexo).

⇒ Número de capulhos por planta

Através do desdobramento da interação dose x consistência de lodo ($p \leq 0,05$), observa-se que as plantas, quando cultivadas na presença do lodo seco, destacaram-se significativamente daquelas que receberam o lodo calado (pastoso), em cada dose estudada (Figura 25B). Considerando-se as doses aplicadas em cada consistência de lodo seco (Figura 25A), estas se ajustaram ao modelo de efeito quadrático, alcançando uma produção máxima de 12 capulhos por planta com o emprego de 243kgN/ha de lodo seco. Já para o lodo calado (pastoso), apesar dos dados não terem se ajustado aos modelos testados (desvio significativo), optou-se pela união dos pontos originais (Figura 25A). Observou-se que praticamente não houve influência do lodo calado na produção de capulhos. A superioridade do número de capulhos por planta, decorrentes da aplicação de lodo seco ao solo, também se expressou na Figura 26 (A, B e C), onde o fatorial foi significativamente superior às testemunhas. Entre testemunhas (Figura 26D), verificou-se que o maior número de capulhos por planta foi registrado naquelas cultivadas com o esterco e com o adubo mineral. Tais resultados foram semelhantes aos obtidos para a variável rendimento (pluma + semente) (Figura 29A, B, C, D).

⇒ Rendimentos (pluma + semente) e em pluma

Os resultados da produção do algodoeiro em função das doses crescentes do lodo seco e calado encontram-se nas Figuras abaixo relacionadas (27 a 30). Em relação ao rendimento (pluma + semente) (Figura 27A), as doses crescentes de lodo seco promoveram um aumento significativo desta variável, cujos dados se ajustaram ao modelo quadrático com coeficiente de determinação ajustado ($R^2 = 0,94$), obtendo-se uma produção máxima (47g) para a dose de



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 25-Número de capulhos do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

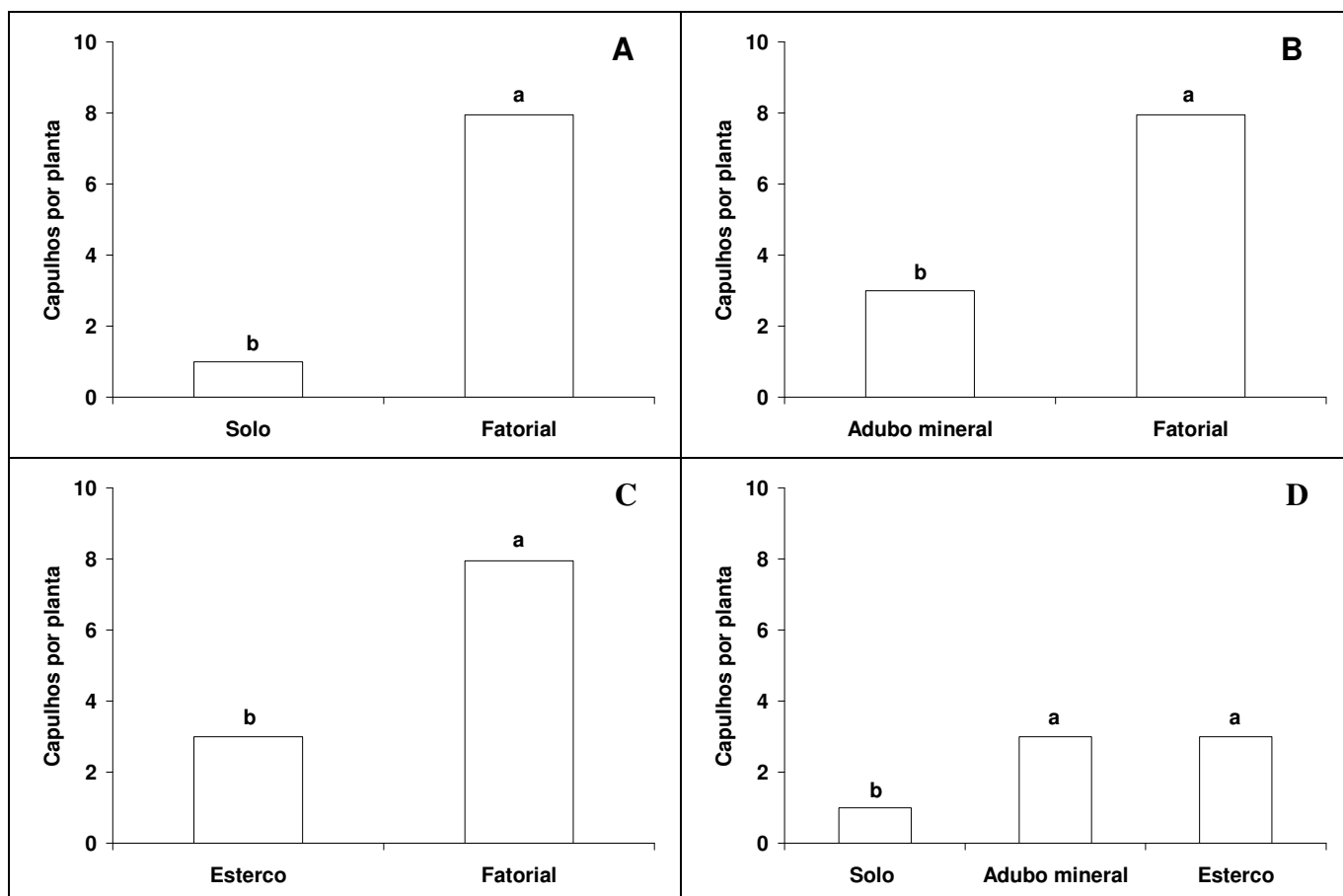
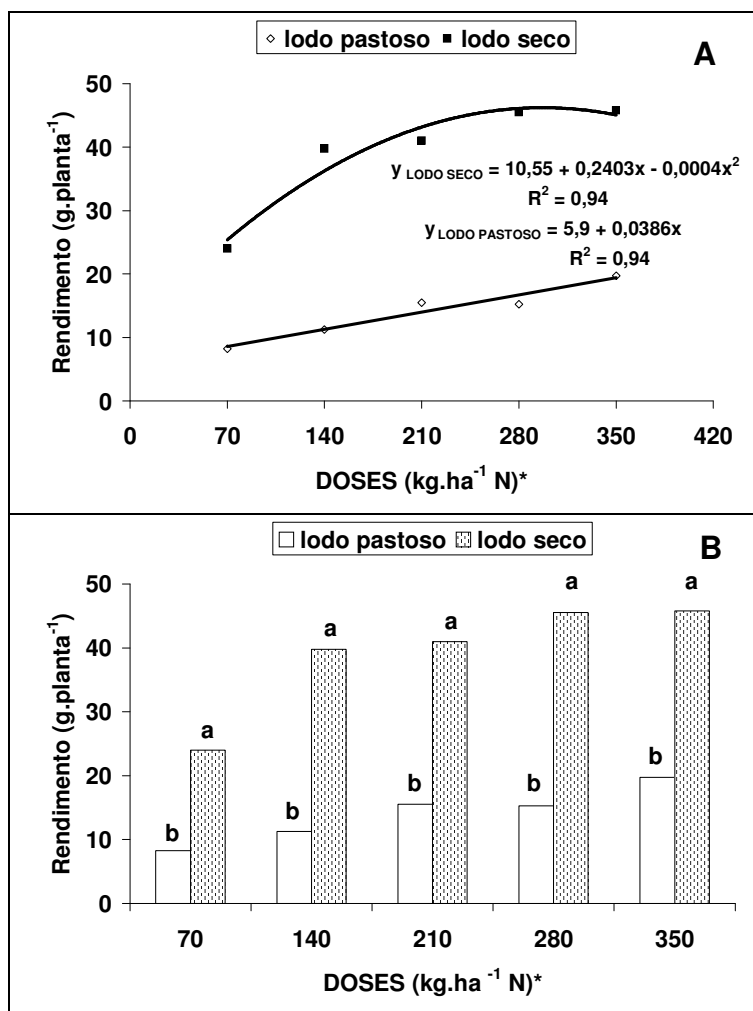


Figura 26-Número de capulhos do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.



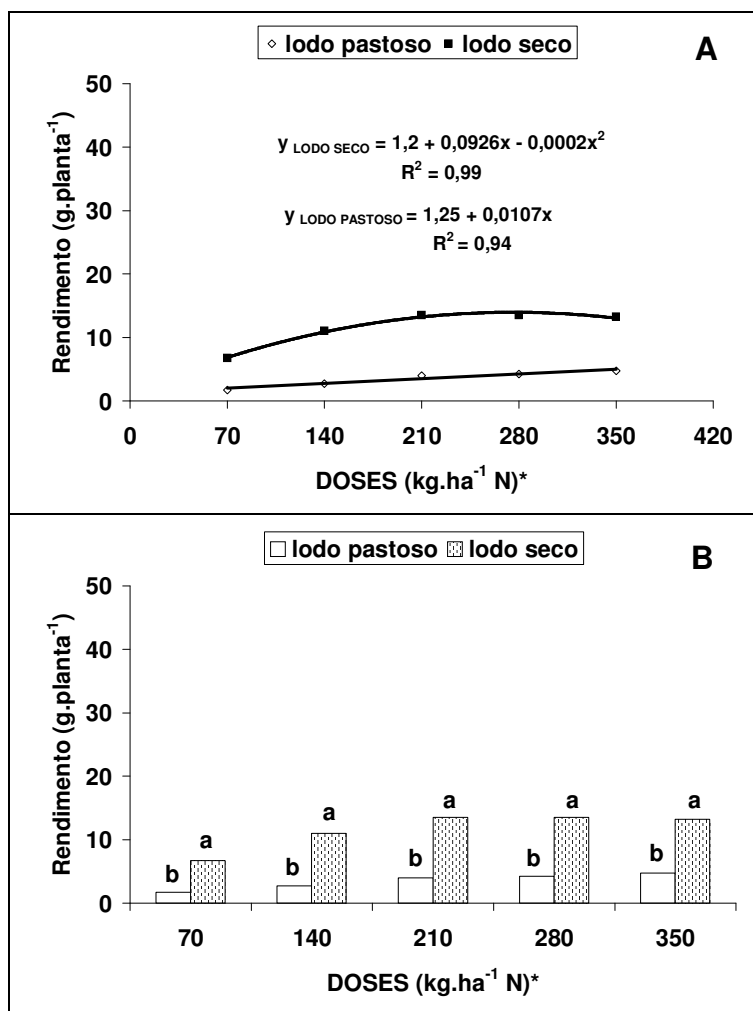
* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 27-Rendimento (pluma + semente) do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

300kgN/ha. Quanto ao lodo calado, este promoveu um aumento linear crescente do rendimento (pluma + semente), com coeficiente de determinação ajustado ($R^2 = 0,94$), porém os resultados foram bem inferiores aos obtidos com o lodo seco (20g para a dose de 350kgN/ha). Com referência ao rendimento em pluma (Figura 28A), os resultados apresentaram comportamento semelhante ao observado para a variável rendimento (pluma + semente). Ressalta-se ainda que, o maior peso em pluma (12g) foi alcançado quando se utilizou 231,5kgN/ha de lodo seco e, enquanto que, para o lodo calado, o máximo rendimento em pluma (5g) foi alcançado com a dose de 350kgN/ha. De um modo geral, cabe destacar o efeito positivo do lodo seco na produção do algodoeiro, apresentando respostas superiores em comparação ao lodo calado. Isso pode ser explicado considerando que o método de secagem utilizado promoveu a secagem do lodo ao mesmo tempo em que preservou a matéria orgânica e os nutrientes existentes, o que favoreceu a ciclagem dos nutrientes no solo, favorecendo o desenvolvimento e a produtividade do algodoeiro; enquanto que, com a calagem ocorreu a perda de nitrogênio através da volatilização da amônia e, pode ter ocorrido um aumento excessivo do pH do solo, o que provocou desequilíbrio dos nutrientes, tornando-os indisponíveis às plantas.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Teles et al. (1999), que, trabalhando com lodo (pasteurizado e calado) procedente de lagoa anaeróbia, para fertilização de substratos usados na produção de mudas de Tamboril, onde observaram que a calagem do lodo promoveu uma condição de alcalinidade ao substrato, o que favoreceu a perda do nitrogênio por volatilização da amônia e por lixiviação dos micronutrientes, tornando-os indisponíveis às plantas e, como consequência, a redução do crescimento das mesmas. Também Silva (2001), utilizando o lodo (seco ao ar livre) procedente de lagoa de estabilização, na cultura de sorgo granífero, concluiu que o lodo mostrou eficiência quanto à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ao mesmo tempo em que os nutrientes presentes na sua constituição tornaram-se disponíveis para as plantas, promovendo aumento na produção de matéria seca das plantas. A utilização do lodo (úmido) no cultivo da cana de açúcar promoveu ação corretiva da acidez parcial do solo, disponibilizando principalmente os nutrientes fósforo, enxofre, cálcio, cobre e zinco, contribuindo desta maneira para o aumento da produtividade agrícola (Silva et al., 1998). Por outro lado, Costa et al. (2001), utilizando o lodo (bruto e calado) oriundo de lagoas anaeróbias, concluíram que o uso do lodo como fonte de matéria orgânica na cultura do mamoeiro apresentou respostas significativas no aumento da produtividade, com destaque para o lodo calado.

O desdobramento das consistências utilizadas em cada dose de lodo aplicada (Figuras 27 e 28) permitiu visualizar mais uma vez a superioridade do lodo seco em todas as doses



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 28-Rendimento em pluma do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

testadas, para as duas variáveis estudadas. Através do fatorial versus testemunhas isoladamente (Figuras 29 e 30, A, B e C), verificou-se claramente a superioridade do fatorial em cada testemunha analisada. Desse modo, mais uma vez se observou que a utilização do lodo incorporado ao algodoeiro possibilitou maior rendimento (pluma + semente) e em pluma. Por outro lado, entre testemunhas (Figura 29D), verificou-se que as plantas que receberam esterco e adubo mineral apresentaram maior rendimento (pluma + semente), diferindo estatisticamente das plantas cultivadas apenas com o solo (testemunha absoluta). Quanto ao rendimento em pluma, verificou-se comportamento semelhante ao obtido para o rendimento (pluma + semente). O fatorial difere estatisticamente de todas as testemunhas analisadas (Figuras 30A, B e C).

Marques et al. (2002) reportam que a maior disponibilidade de nutrientes no solo, causada pela aplicação de biofósforo, pode conduzir a um melhor desenvolvimento da planta, com maior produção de matéria seca. E, desde que o teor dos nutrientes disponíveis no solo esteja equilibrado em função das necessidades da planta, a maior produção de matéria seca poderá levar à maior produtividade. Portanto, o biofósforo é um fertilizante potencial em diversas condições de clima e solo.

⇒ **Percentagem de fibras**

Quanto à percentagem de fibras, de maneira geral, a utilização do lodo seco superou à do lodo calado (pastoso) (Figura 31A), principalmente quando se aplicaram as doses de 70 e 210kgN/ha, que diferiram significativamente do lodo calado (pastoso) (Figura 31B). Pedroza (2002) reportou que a incorporação de biofósforo calado ao algodão herbáceo BRS 187 8H não influenciou a variável percentagem de fibras.

⇒ **Peso de 100 sementes**

Os tratamentos testemunhas e os que utilizaram lodo calado (pastoso) e 70kgN/ha do lodo seco não atingiram 100 sementes. Desta forma, essa variável foi analisada estatisticamente apenas para os tratamentos que utilizaram 140, 210, 280 e 350kgN/ha de lodo seco (Tabela III - Anexo), cujos dados não diferiram estatisticamente ($p \geq 0,05$).

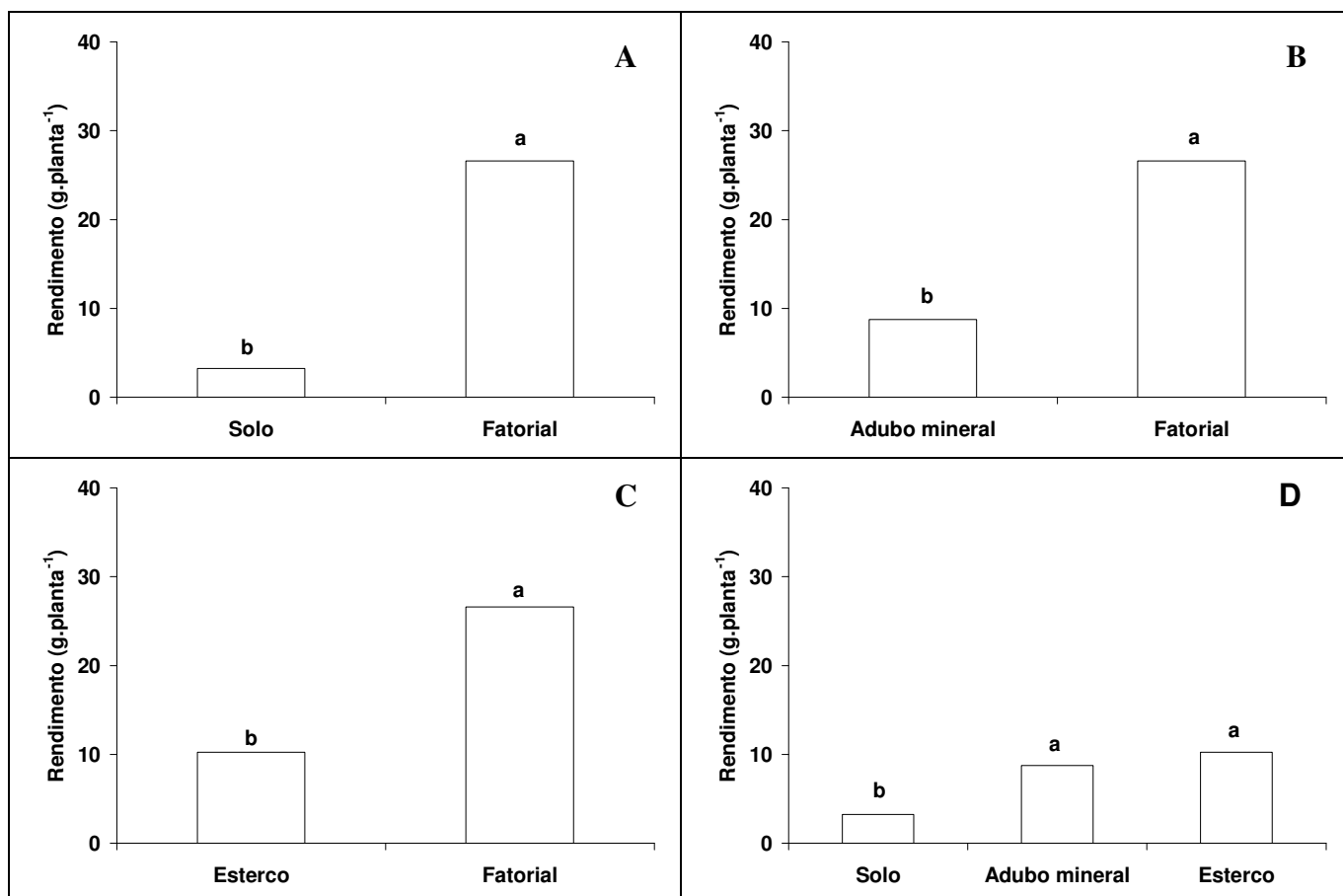


Figura 29-Rendimento (pluma + semente) do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha e D, entre testemunhas.

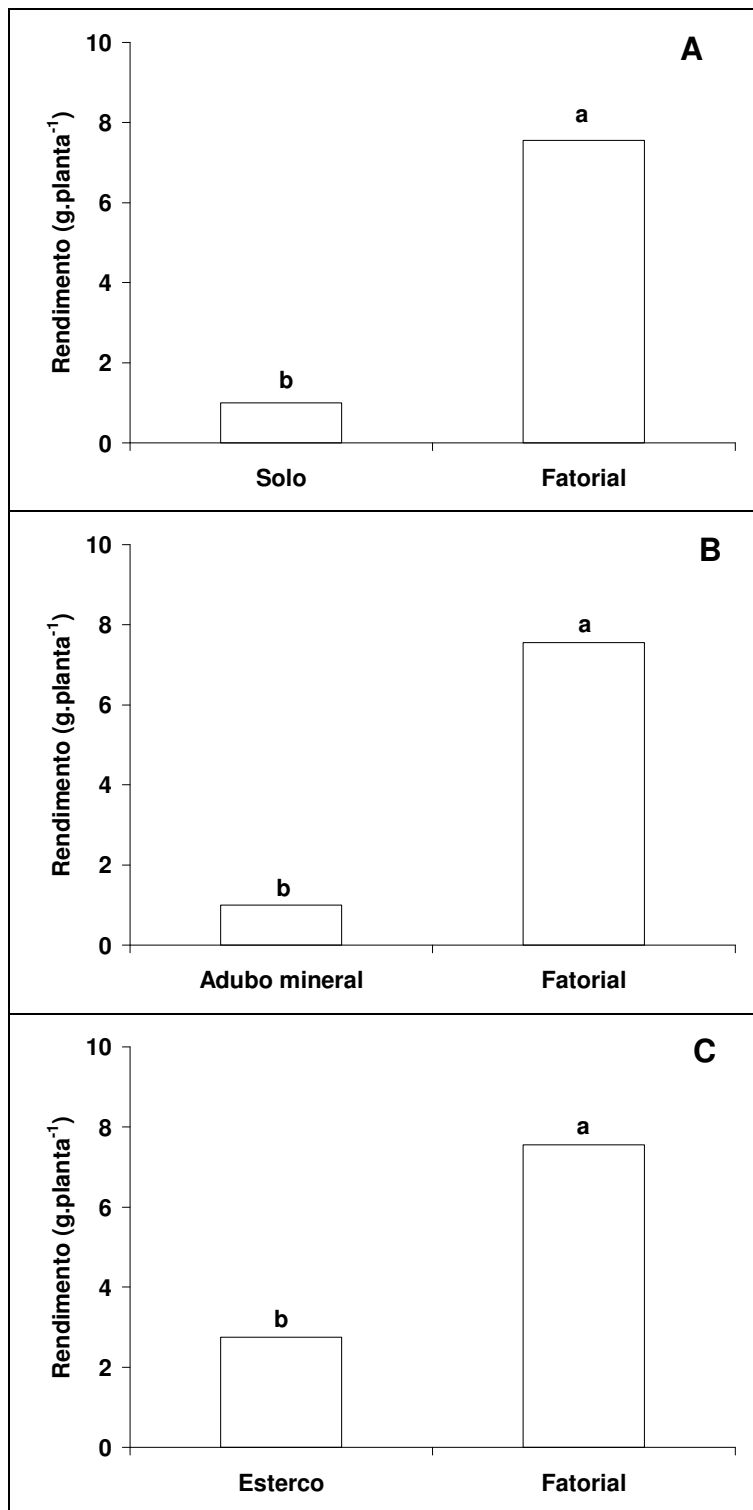
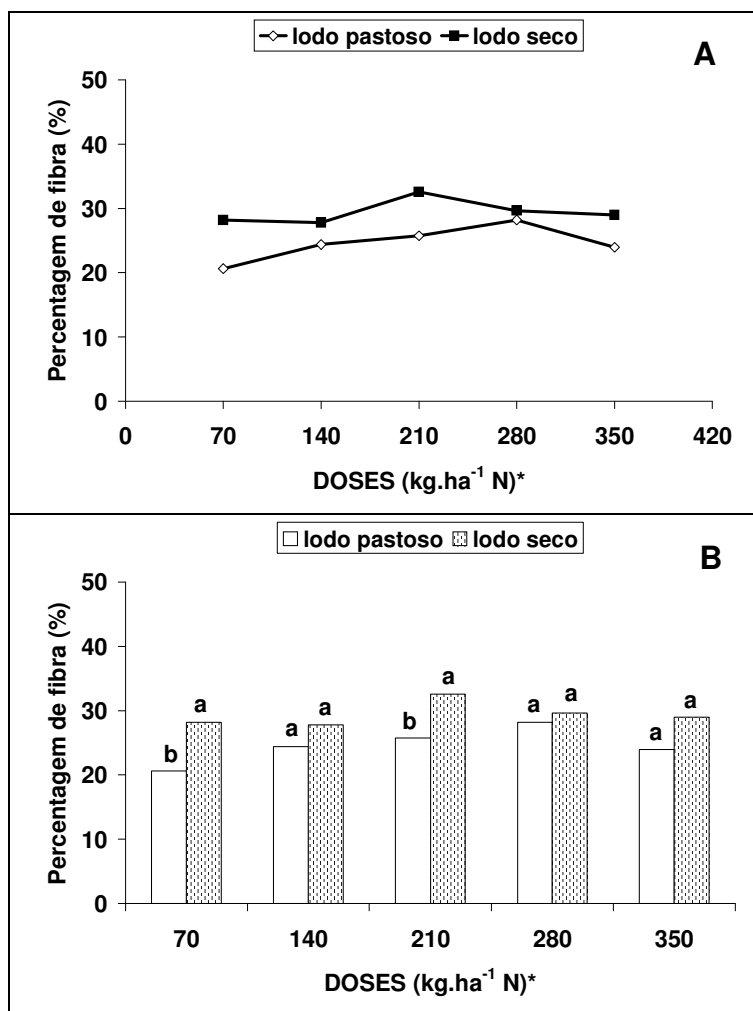


Figura 30-Rendimento em pluma do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses e consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. A-C, comparação entre fatorial vs testemunha.



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 31-Percentagem de fibra em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.5.5 Qualidade tecnológica da fibra

Com relação às plumas produzidas pelas plantas procedentes dos tratamentos que receberam lodo calado (pastoso), 70kgN/ha de lodo seco e nas três testemunhas, não foram suficientes para realização da análise para avaliar a qualidade de fibra. Dessa forma, as variáveis foram analisadas apenas para os quatro tratamentos que receberam lodo seco (Tabela 21). Esses dados foram submetidos à análise estatística e não se observaram diferenças significativas ($p \geq 0,05$) em todas as variáveis estudadas (Tabela IV - Anexo).

Os valores médios referentes à qualidade física da fibra do algodão estão apresentados na Tabela 21. De acordo com Santana et al. (1999), quanto ao comprimento de fibra (SL 2,5%, mm), esta se classifica na categoria de média (27,0 a 28,8mm) a longa (28,9 a 30,5mm), enquanto a BRS Verde se classifica na categoria média (27,95mm); com relação à uniformidade de comprimento, a fibra foi considerada uniforme, igual a BRS Verde; o índice de fibras curtas foi classificado como muito baixo (< 6,0%) e baixo (6,0 a 9,0%); quanto menor este valor melhor será a qualidade do fio; com relação à resistência, a fibra foi classificada como forte (31 a 33gf/tex) e muito forte (acima de 34gf/tex), apresentando valores superiores ao da BRS Verde (25,85gf/tex); o alongamento à ruptura foi classificado como muito alto (acima de 7,6%); o Índice Micronaire classifica a fibra como muito fina por apresentar valores inferiores a 3,0 μ g/pol, iguais ao da BRS-verde (2,65 μ g/pol) e, em geral, produzem fios mais resistentes em decorrência do maior número de fibras na secção do fio; o índice de fiabilidade se enquadra na categoria média (2000 a 2250).

Tabela 21 - Valores médios referentes à qualidade tecnológica da fibra do algodão BRS-verde

Tratamento (kgN/ha)	VARIÁVEIS						
	COMP	UNF	IFC	RST	ALON	MIC	IF
5 (70)	-	-	-	-	-	-	-
7 (140)	29,07	84,25	5,07	35,75	12,47	2,45	2228,75
9 (210)	27,50	84,15	5,97	36,37	12,10	2,87	2181,75
11 (280)	27,85	83,75	6,27	33,73	11,63	2,52	2098,25
13 (350)	28,65	83,35	6,35	33,77	11,07	2,40	2140,75
BRS verde⁴	27,95	84,50	--	25,85	--	2,65	--

COMP = Comprimento da fibra (mm); UNF = Uniformidade de comprimento (%); IFC = Índice de fibras curtas (%); RST = Resistência (gf/tex); ALON = Alongamento à ruptura (%); MIC = Índice Micronaire (μ g/in); IF = Índice de Fiabilidade (%).

⁴ Média das linhagens que compuseram o bulk que originou a BRS Verde. Carvalho, L. P., *Correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais entre algumas características do algodoeiro herbáceo colorido*, ROF, Campina Grande, v.5, n.1, p.267-272. 2001.

De um modo geral, percebe-se que as variáveis: uniformidade, resistência, alongamento e índice de fiabilidade diminuíram com o aumento das doses, enquanto que o índice de fibras curtas aumentou.

Algumas variáveis de qualidade são consideradas mais determinantes quando se avalia a qualidade de um fio, entre eles a uniformidade, a resistência e o alongamento. Por qualidade entende-se a adequação ao uso. A qualidade do algodão em pluma depende dos fatores externos (interferem no tipo) e internos, inerentes da cultivar, com influência do ambiente, sendo ambos importantes e interferem no preço final do produto. O cotonicultor deve plantar a cultivar adaptada à sua região, de boa qualidade, produtora de boa fibra e que atenda às exigências das indústrias consumidoras, visto que a variedade predetermina os limites da qualidade da fibra quanto às suas características tecnológicas e do mercado consumidor. Para o algodão colorido, essas características estão sendo monitoradas pela EMBRAPA/Algodão.

5.5.6 EXPERIMENTO II - MILHO



Figura 32—Plantas de milho AG 1051, na casa de vegetação da EMBRAPA/Algodão.

De acordo com os dados da Tabela V (Anexo), observou-se para as variáveis altura de planta, área foliar por folha, área foliar por planta, fitomassa radicular e fitomassa aérea, que houve um efeito significativo ($p \leq 0,01$) para os fatores consistência e doses, isolados e combinados. Quanto à variável diâmetro caulinar houve diferença significativa ($p \leq 0,01$) apenas para a consistência de lodo, não ocorrendo resposta significativa quanto a esses fatores para a variável comprimento de raiz.

Com relação ao contraste do fatorial versus testemunhas (Tabela V - Anexo), constatou-se que houve diferença significativa para as variáveis área foliar por folha,

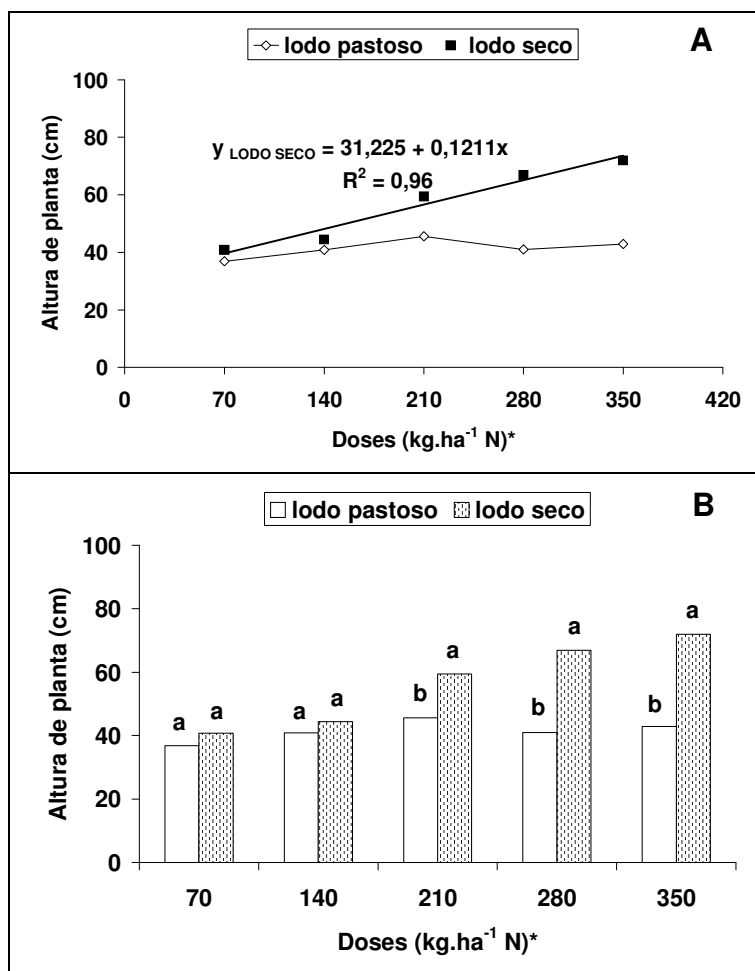
fitomassa radicular e fitomassa aérea; quanto às variáveis diâmetro caulinar e comprimento de raiz, houve resposta significativa apenas para a interação fatorial versus solo e para as variáveis altura de planta e área foliar por planta, além daquela interação, houve resposta estatística também para a interação fatorial versus adubo mineral.

Os resultados referentes à altura final de plantas de milho, avaliada aos 40 dias após a emergência, encontram-se nas Figuras 33 e 34. Através do desdobramento da interação dose versus consistência de lodo, observou-se que as plantas quando cultivadas na presença de lodo seco destacaram-se ($p \leq 0,05$) daquelas que receberam o lodo calado (pastoso), nas três últimas doses estudadas (210 – 350kgN/ha) (Figura 33B). Considerando as doses aplicadas em cada consistência de lodo (Figura 33A), estas se ajustaram ao modelo de efeito linear para o lodo seco. Para o lodo calado (pastoso), os dados não foram significativos (Figura 33A). Quando do contraste do fatorial versus solo (testemunha absoluta) (Figura 34A) e versus adubo mineral (Figura 34B), verificou-se a superioridade do fatorial em relação a cada testemunha avaliada.

Os resultados referentes ao diâmetro final avaliado aos 40 dias após a emergência (Figura 35,A, B e C), exibem comportamento semelhante ao anterior, ou seja, o maior crescimento em diâmetro caulinar foi alcançado para as plantas cultivadas com a consistência de lodo seco, a partir da dose de 140kgN/ha (Figuras 35,A e B). A comparação do fatorial versus solo (testemunha absoluta) destacou a superioridade do fatorial (Figura 35C).

Favaretto et al. (1997b) não verificaram diferenças significativas na altura de plantas de milho entre os tratamentos que receberam lodo de esgoto e adubo mineral; Christodoulakis & Margaris (1996) observaram crescimento superior das plantas de girassol submetidas quando da utilização do lodo de esgoto;

Os dados referentes à área foliar por folha e por planta encontram-se nas Figuras 36, 37, 38 e 39. Para a área foliar por folha, através do desdobramento da interação dose versus consistência de lodo, notou-se que as plantas cultivadas na presença do lodo seco a partir da terceira dose (210kgN/ha), destacaram-se daquelas cultivadas com lodo calado (pastoso) (Figura 36B). Considerando-se as doses aplicadas em cada consistência de lodo (Figura 36A), estas se ajustaram a um modelo linear. Para o lodo calado (pastoso), os dados não foram significativos (Figura 36A). Comportamento semelhante foi observado para os dados de área foliar por planta (Figura 38,A e B). A superioridade da área foliar por folha decorrente da aplicação de lodo seco ao solo, também se expressa através da Figura 37 (A, B e C), onde o fatorial foi superior a cada testemunha. Com relação à área foliar por planta (Figura 39,A e B), também se observou essa superioridade decorrente da aplicação do lodo seco ao solo, onde o fatorial superou as testemunhas solo (testemunha absoluta) (Figura 39A) e adubo



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 33-Altura final de plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

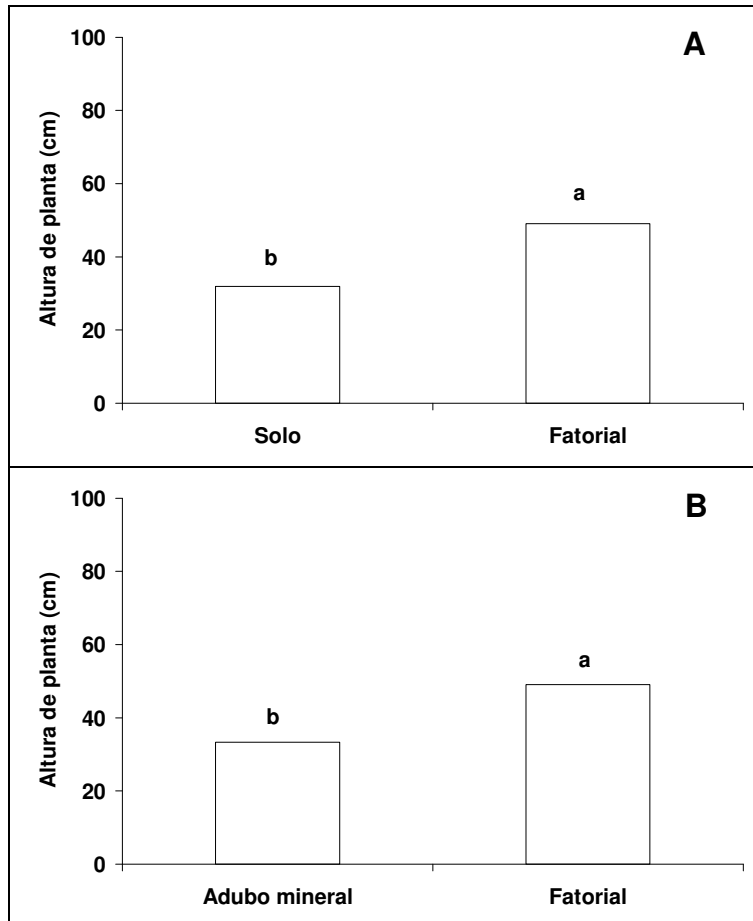
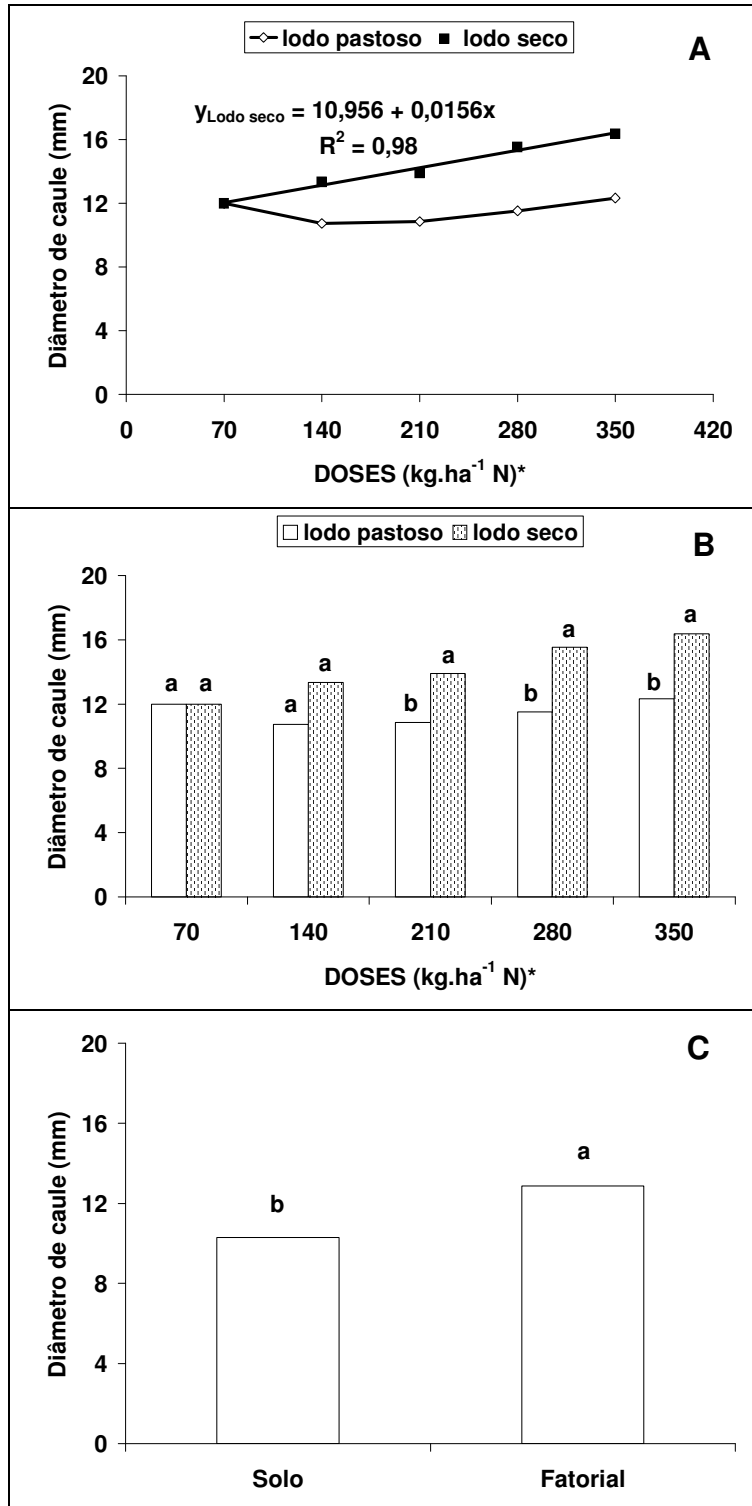
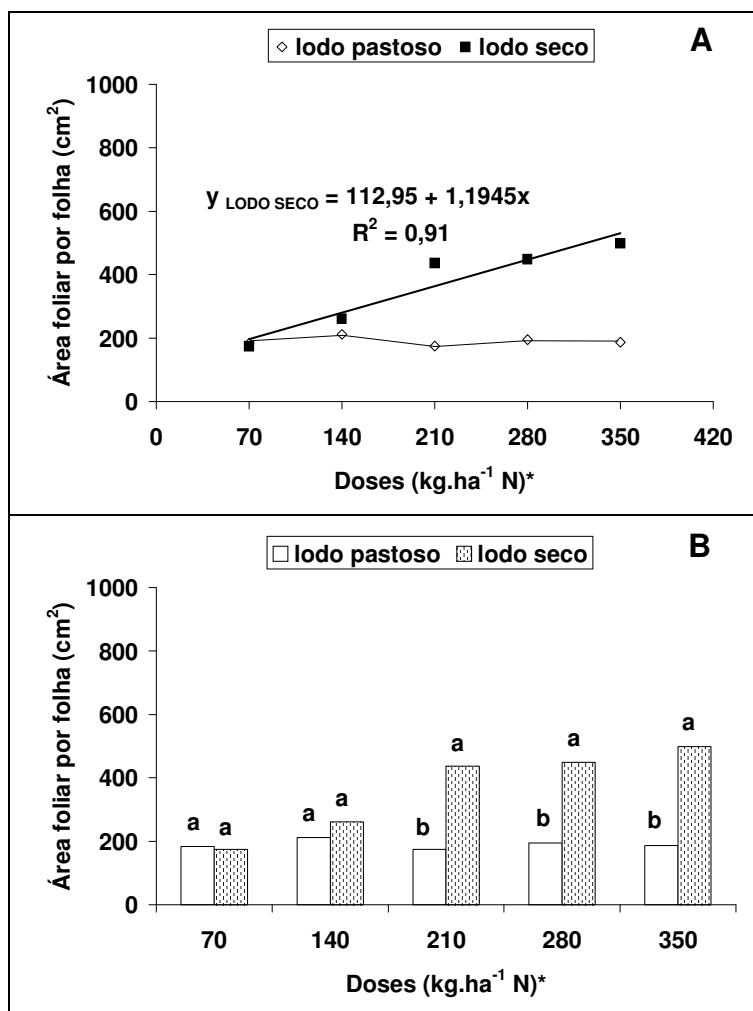


Figura 34-Altura final de plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-B).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 35-Diâmetro de caule final em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre consistências (B) e entre fatorial vs solo (C). B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 36-Área foliar por folha em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

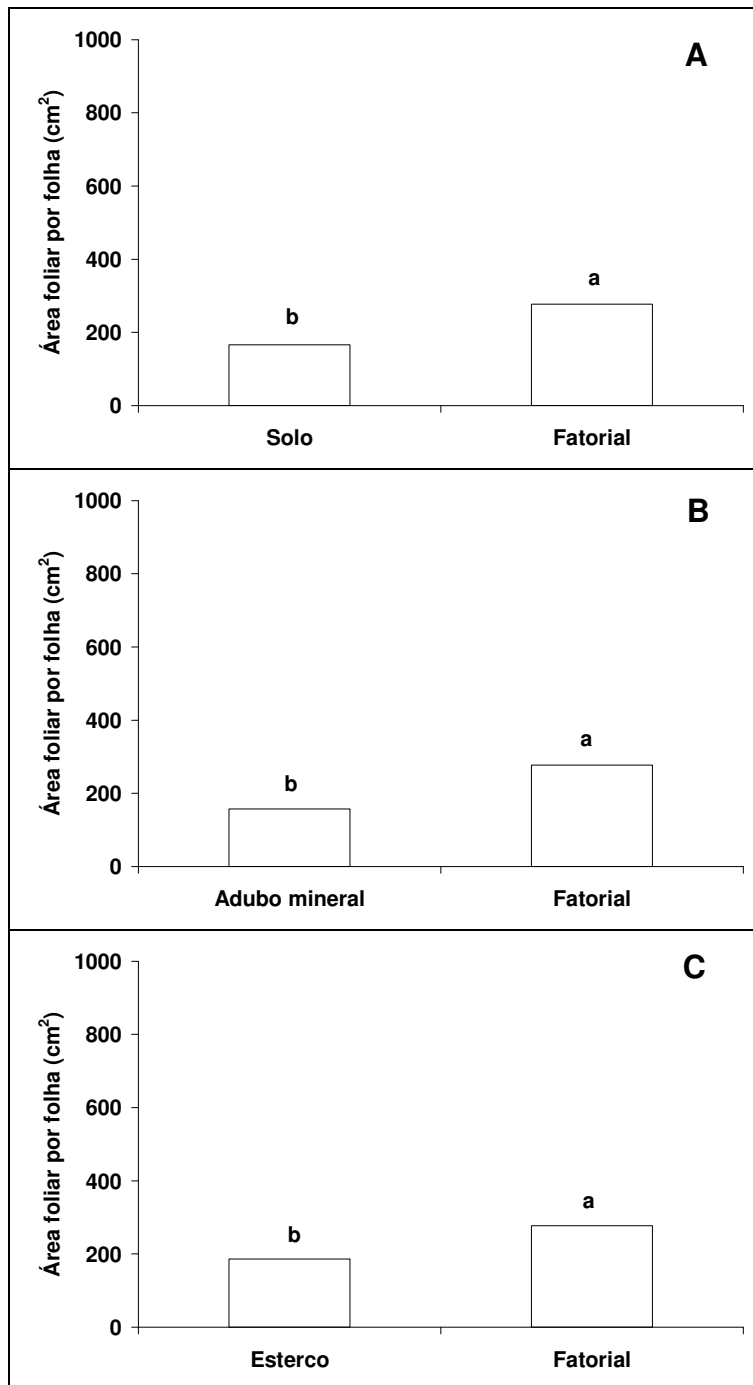
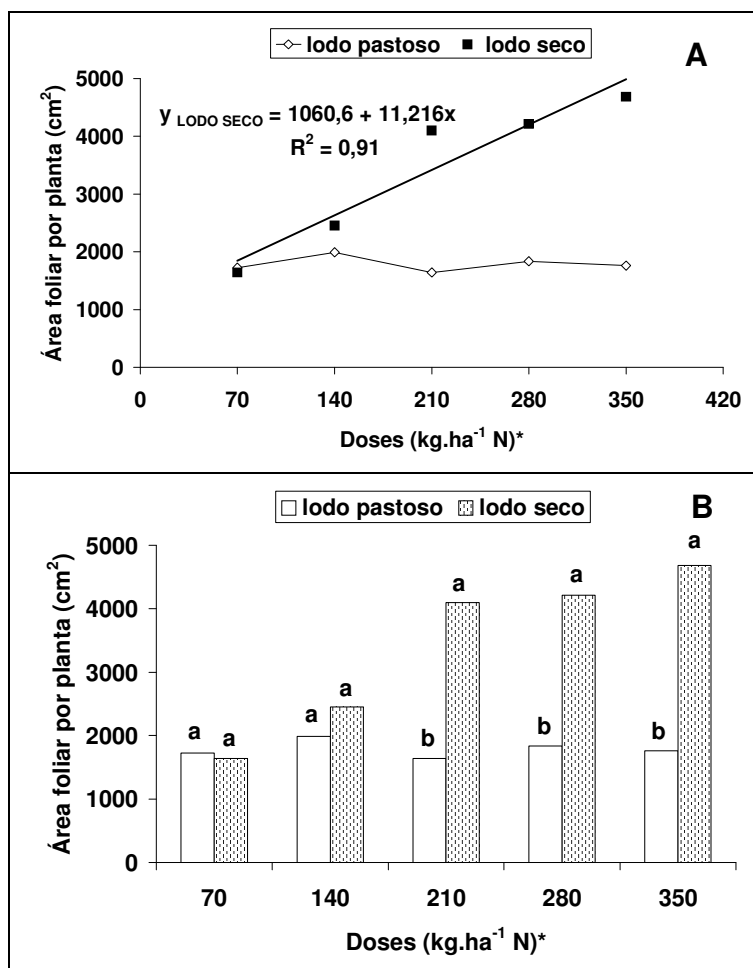


Figura 37-Área foliar por folha em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 38-Área foliar por planta na cultura de milho AG 1051 (experimento II), submetida a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

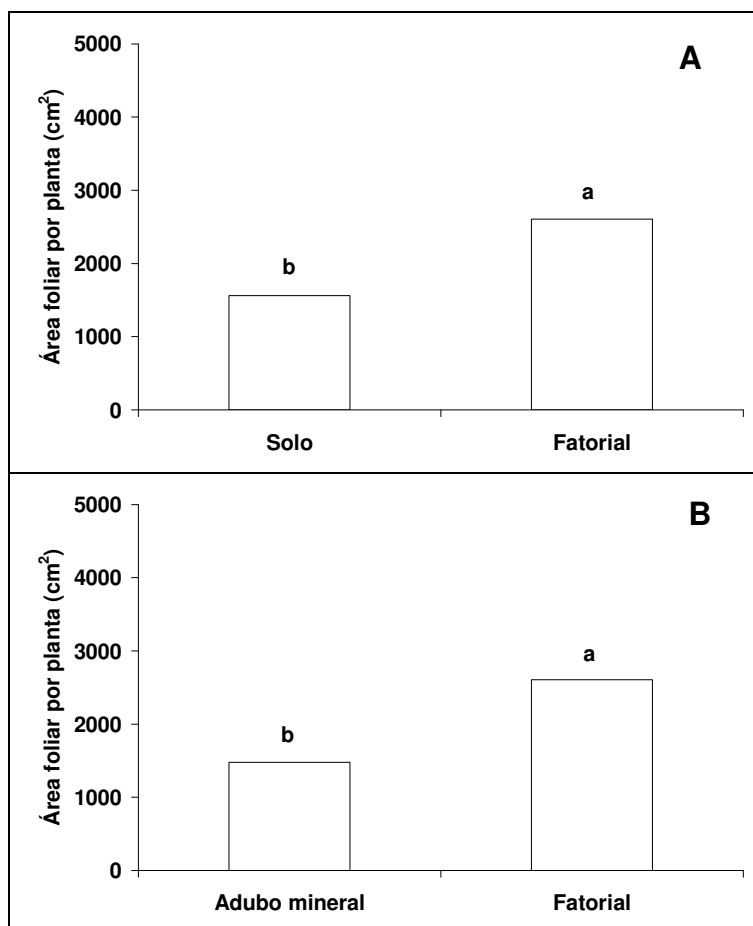
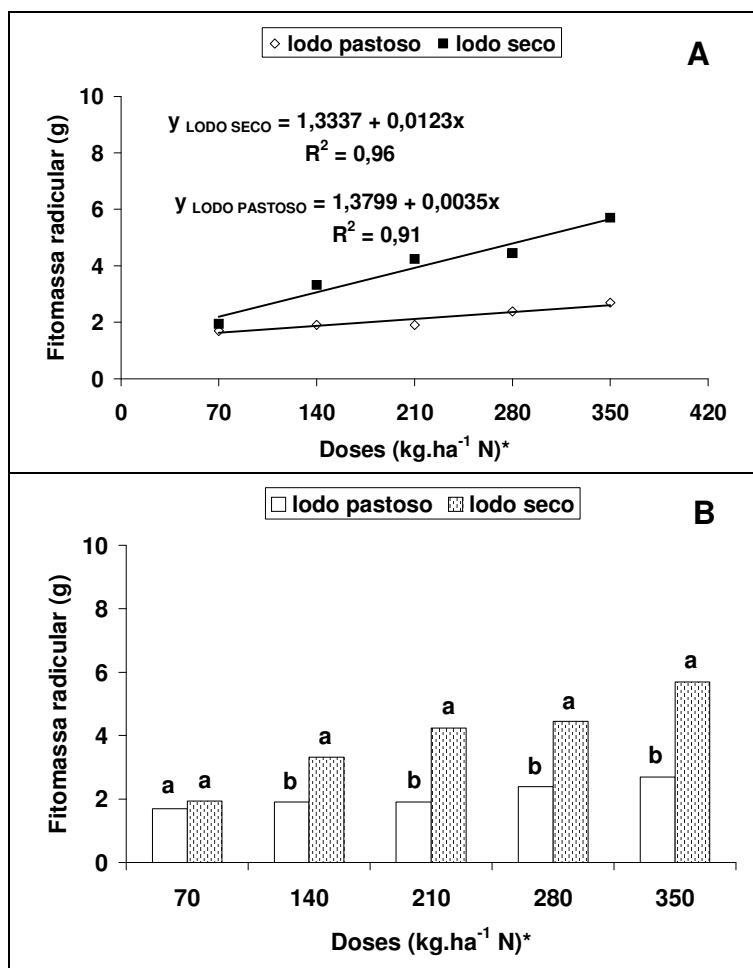


Figura 39-Área foliar por planta na cultura de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-B).

mineral (Figura 39B). Christodoulakis e Margaris (1996) observaram aumento da área foliar em até 150% das plantas de girassol, quando da utilização do lodo de esgoto, e de 75%, quando da utilização de adubos minerais.

Os resultados referentes à fitomassa radicular e aérea das plantas de milho estão apresentados nas Figuras 40, 41, 42 e 43. Observa-se que (Figura 40A) as doses crescentes de lodo seco proporcionaram um aumento significativo de massa seca radicular, cujos dados se ajustaram ao modelo linear com coeficiente de determinação ajustado ($R^2 = 0,96$). Para o lodo calado, este também se ajustou a um modelo linear com coeficiente de determinação ajustado ($R^2 = 0,91$). Através da interação dose x consistência de lodo, percebe-se que as plantas que receberam lodo seco produziram massa radicular superior àquelas onde o lodo calado (pastoso) foi incorporado (Figura 40B), a partir da segunda dose (140kgN/ha). Quando da análise do fatorial versus testemunhas (Figura 41,A, B e C), mais uma vez percebeu-se a superioridade do fatorial em relação a cada testemunha avaliada. Resultados semelhantes foram obtidos para a variável fitomassa aérea (Figuras 43,A, B e C). Com relação às doses aplicadas para cada consistência de lodo para a fitomassa aérea (Figura 42A), a incorporação do lodo seco se ajustou ao modelo linear. Para o lodo calado (pastoso), os dados não foram significativos; percebe-se que este tipo de lodo não interferiu no aumento de fitomassa aérea das plantas de milho (Figura 42A). Através da interação dose x consistência de lodo, percebeu-se que as plantas que receberam lodo seco produziram massa radicular superior àquelas onde o lodo calado (pastoso) foi incorporado (Figura 42B), a partir da terceira dose (210kgN/ha).

Pigozzo et al. (2001) constataram que o lodo proporcionou aumento da produção de matéria seca em plantas de milho; Krohling et al. (2000) verificaram aumento da matéria seca (parte aérea, radicular e total) de mudas de café quando da incorporação do lodo calado; Favaretto et al. (1997b) estudaram o efeito residual da aplicação do lodo de esgoto calado no desenvolvimento e na produtividade do milho e concluíram que a fertilização orgânica com lodo de esgoto a partir da menor dosagem (32t/ha, base úmida), pode substituir a fertilização mineral recomendada no que concerne à produtividade desta cultura. Também verificaram o efeito residual da utilização do lodo de esgoto aplicado no ano anterior. O maior crescimento foi observado nas plantas cultivadas com lodo; Lourenço et al. (1995) observaram aumento da produtividade do milho e do feijão quando da utilização de doses crescentes de lodo até o limite máximo de 52,5 t/ha; Ros et al. (1993) observaram maior aumento da matéria seca pelas plantas de milho quando da incorporação de lodo; Radwan (1991) verificou que quando o lodo foi incorporado em teores superiores a 40% promoveu aumento da massa seca, do número de peso de cem sementes em plantas de girassol; Berton et al. (1989) observaram o



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 40-Fitomassa radicular em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

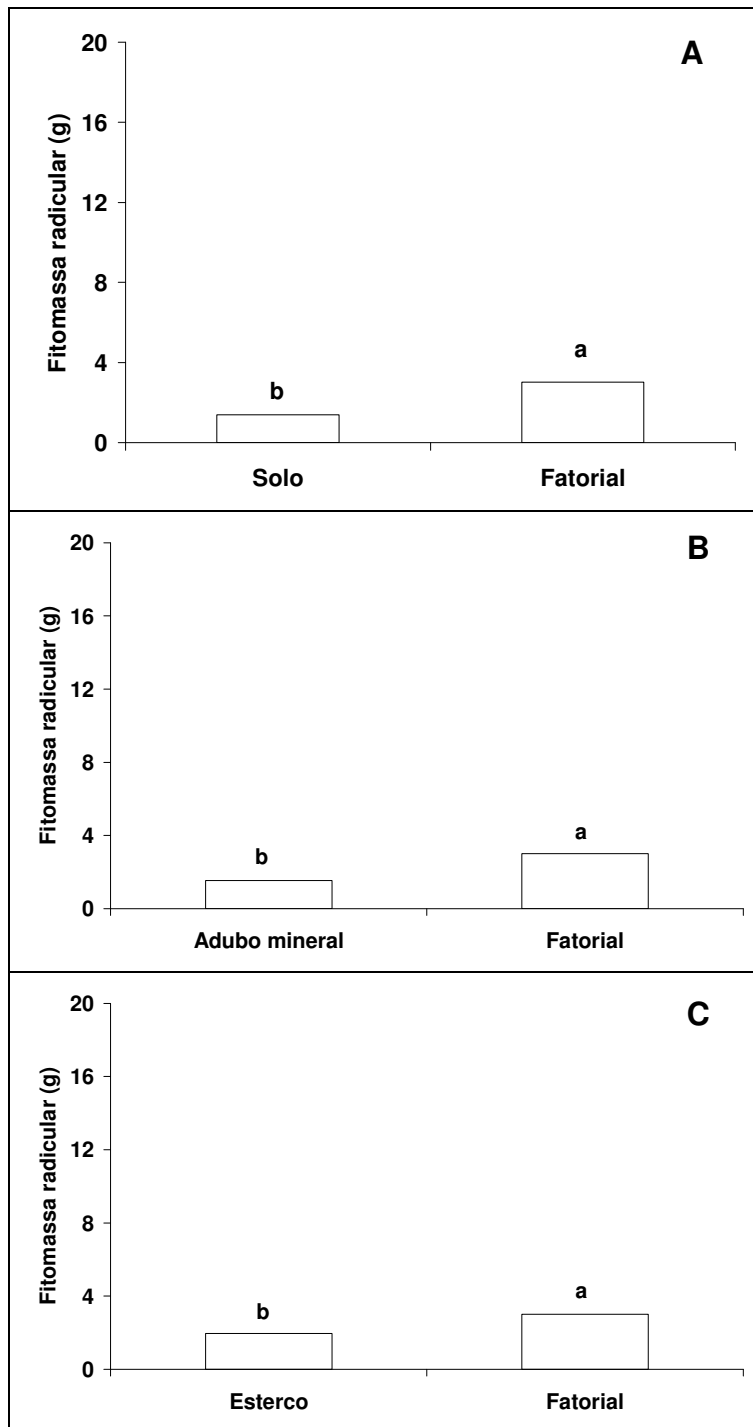
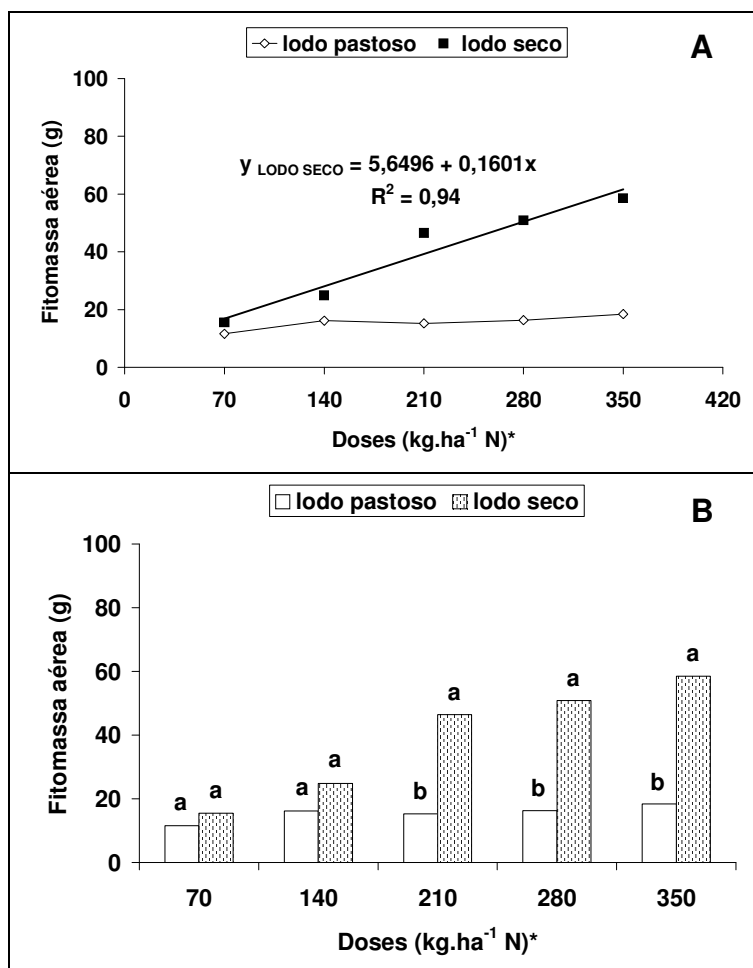


Figura 41-Fitomassa radicular em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 42-Fitomassa aérea em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

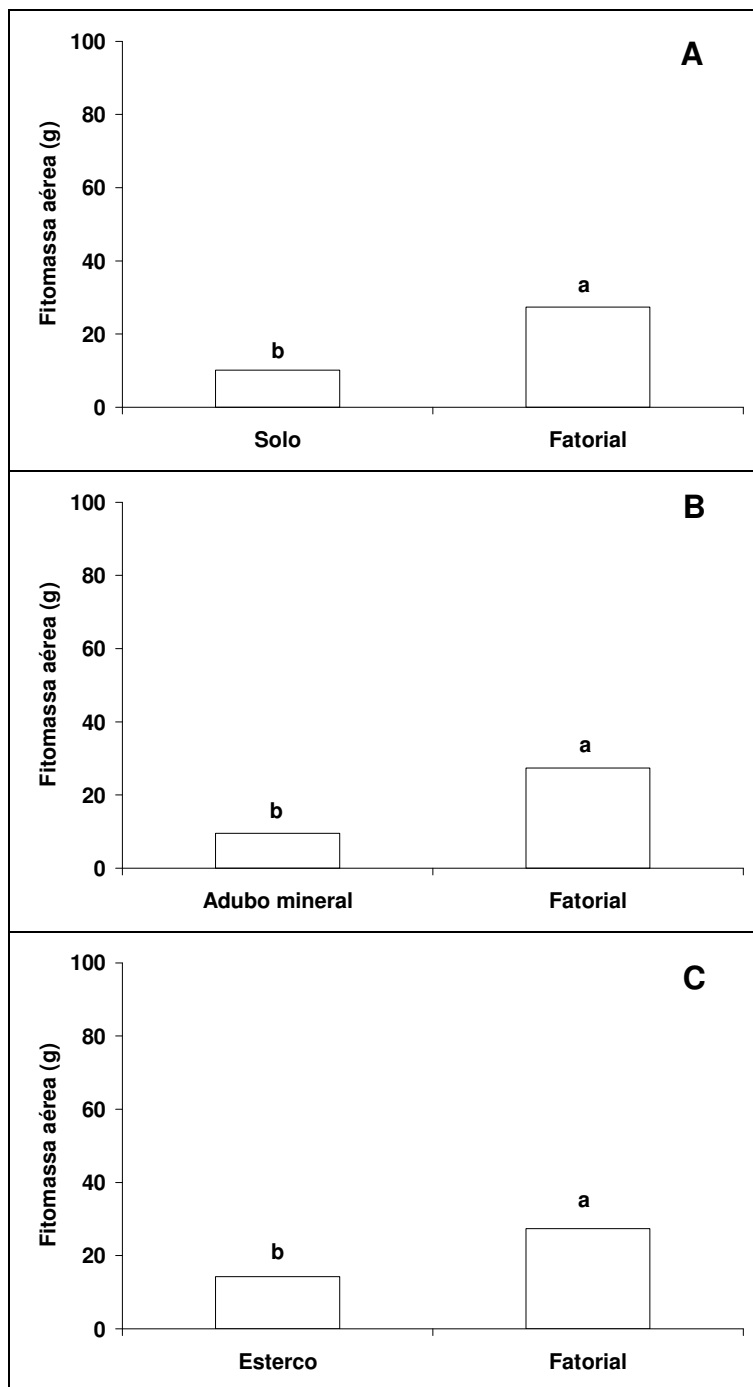


Figura 43-Fitomassa aérea em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).

aumento na produção de matéria seca e na absorção de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e zinco para a cultura do milho, quando da utilização de doses crescentes de lodo seco ao ar. Bettiol et al. (1983) verificaram que o lodo de esgoto pode ser utilizado como fonte de nutrientes para as culturas do milho e do arroz, considerando o efeito da matéria orgânica sobre as propriedades físicas e químicas do solo.

Para o comprimento de raiz (Figura 44A), a comparação do fatorial versus solo permite afirmar que não houve diferença entre estes.

De maneira geral, constatou-se efeito residual do lodo seco às plantas de milho, que proporcionou um maior crescimento em altura de planta e em diâmetro caulinar, e aumento da área foliar por folha e por planta e fitomassa (aérea e radicular).

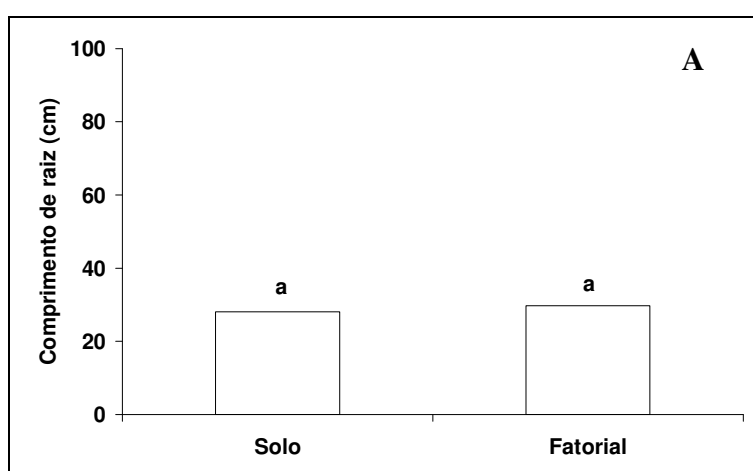


Figura 44-Comprimento de raiz em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A).

5.5.7 Análise foliar

De acordo com o quadro da análise de variância (Tabela VI - Anexo), referente à análise foliar, verificou-se efeito significativo dos fatores isolados e da interação consistência x dose para as variáveis nitrogênio e potássio determinados nas folhas de milho. Com relação ao fósforo houve resposta significativa para os dois fatores isolados; já para o cálcio, ocorreu o efeito apenas para a consistência do lodo. Não houve resposta significativa para o magnésio em nenhum dos fatores estudados. Com relação ao contraste fatorial versus testemunhas (Tabela VI - Anexo), percebeu-se que houve diferença significativa para as variáveis nitrogênio e potássio determinadas nas folhas de milho. Com relação ao fósforo e cálcio, observou-se que houve resposta significativa para os contrastes fatorial versus solo e fatorial

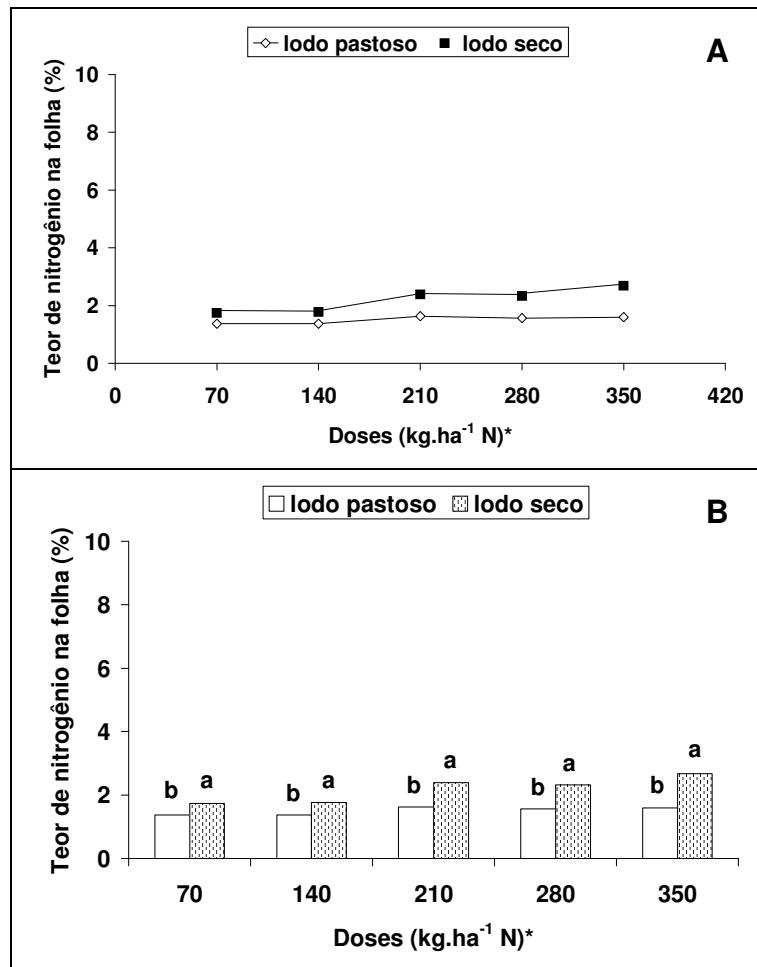
versus esterco. Quanto à comparação entre testemunhas, constatou-se efeito estatístico apenas para o fósforo.

Para o teor de nitrogênio (Figura 45,A e B), o desdobramento da interação dose versus consistência de lodo, permite afirmar que as plantas quando cultivadas com lodo seco destacaram-se daquelas cultivadas com lodo calado (pastoso), em cada dose estudada (Figura 45B). Considerando-se as doses aplicadas em cada consistência para o lodo seco (Figura 45A), observou-se que os dados não se ajustaram aos modelos testados (desvio significativo), enquanto para o lodo calado (pastoso) os dados não foram significativos. Porém, a incorporação do lodo seco disponibilizou um teor de nitrogênio levemente superior quando comparado com a quantidade disponibilizada através do lodo calado (pastoso). Com relação ao fatorial versus testemunhas (solo, adubo mineral e esterco), (Figura 46A, B e C), percebeu-se que este foi superior, indicando que as plantas cultivadas na presença de lodo apresentaram maior teor de nitrogênio nas folhas em relação àquelas cultivadas com solo (testemunha absoluta) ou adubo mineral ou esterco.

Outros autores (Ros et al. (1993), plantas de milheto, e Berton et al. (1989), plantas de milho), constataram aumento na absorção de nitrogênio quando da incorporação de lodo.

O maior teor de fósforo nas folhas foi obtido nas plantas cultivadas com lodo seco (Figura 47A e B). Quanto às doses de lodo empregadas, estas se ajustaram a um modelo linear para as duas consistências empregadas (Figura 47A). Com relação às testemunhas, destacou-se a superioridade do fatorial em relação ao solo (testemunha absoluta), ocorrendo, por outro lado, resposta contrária em relação ao emprego do esterco (Figuras 48,A e B). Entre testemunhas (Figura 48C), o maior teor de fósforo ocorreu nas folhas cultivadas com esterco e adubo mineral. Outros autores verificaram que o lodo atuou como fonte de fósforo para outras culturas: Silva et al. (1998), cana-de-açúcar, e Berton et al. (1989), milho.

No que concerne ao teor de potássio nas folhas (Figura 49B), mediante o desdobramento da interação dose x consistência de lodo, observou-se que as plantas quando cultivadas na presença de lodo calado (pastoso) destacaram-se estatisticamente daquelas que receberam o lodo seco apenas na terceira e na quarta doses (210 e 280kgN/ha, respectivamente). Considerando-se as doses aplicadas em cada consistência de lodo (Figura 49A), observou-se que o lodo seco se ajustou a um modelo de efeito quadrático, com valores inferiores aos obtidos com o lodo calado (pastoso). Analisando-se o contraste fatorial versus testemunhas (Figura 50A, B e C), destacou-se a superioridade do solo (testemunha absoluta), do adubo mineral e do esterco frente ao fatorial, ou seja, as plantas cultivadas com solo, ou adubo mineral ou esterco acumularam maior teor de potássio nas folhas. Berton et al. (1989) observaram pequena absorção de potássio pelas folhas do milho quando da utilização de doses



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 45-Teor de nitrogênio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

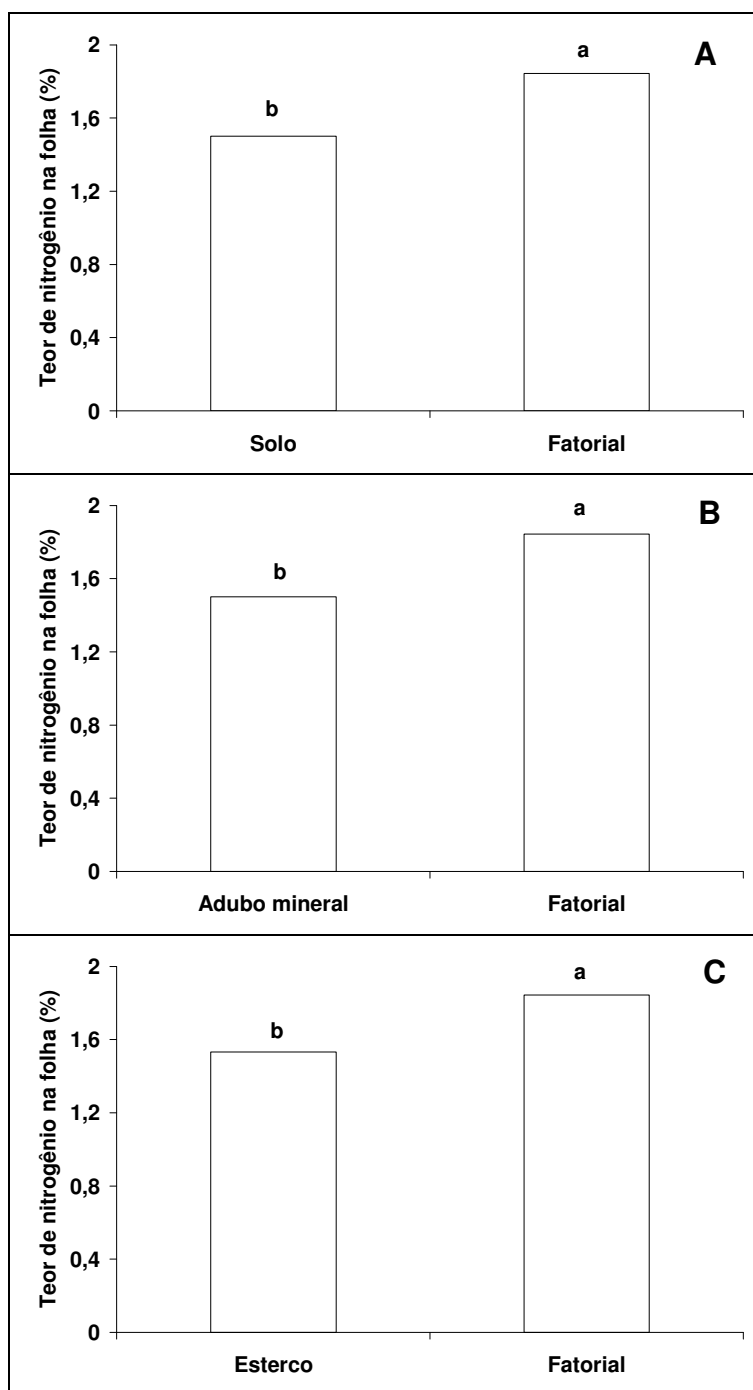
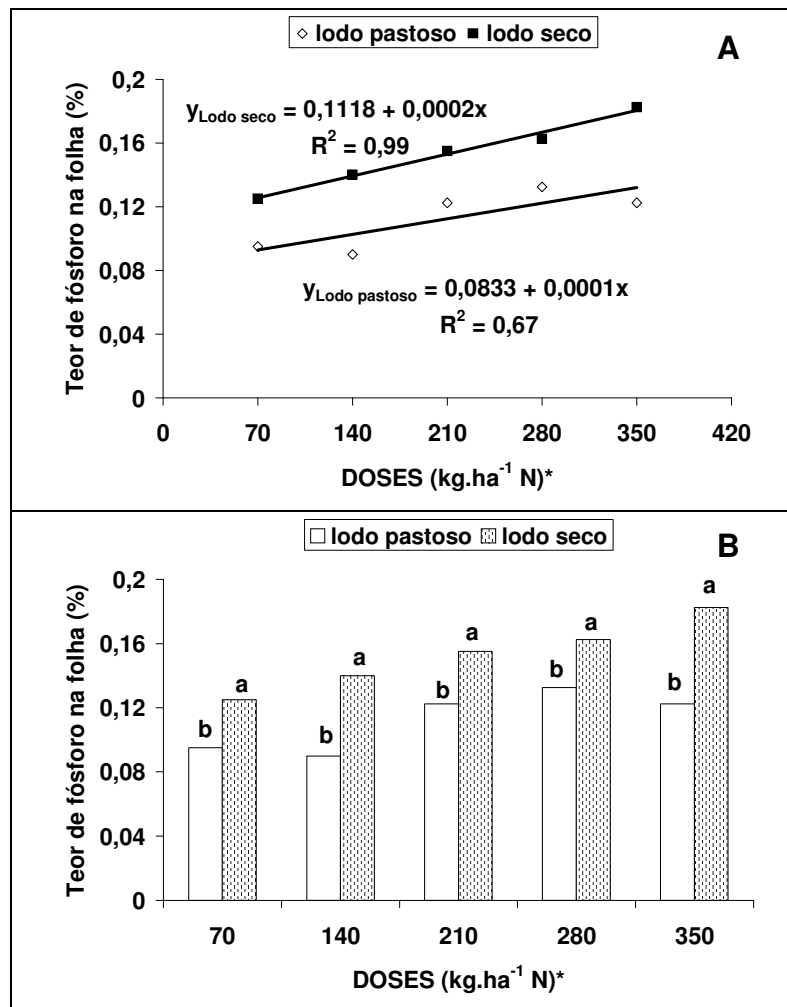


Figura 46-Teor de nitrogênio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial x testemunhas (A-C).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 47-Teor de fósforo determinado em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

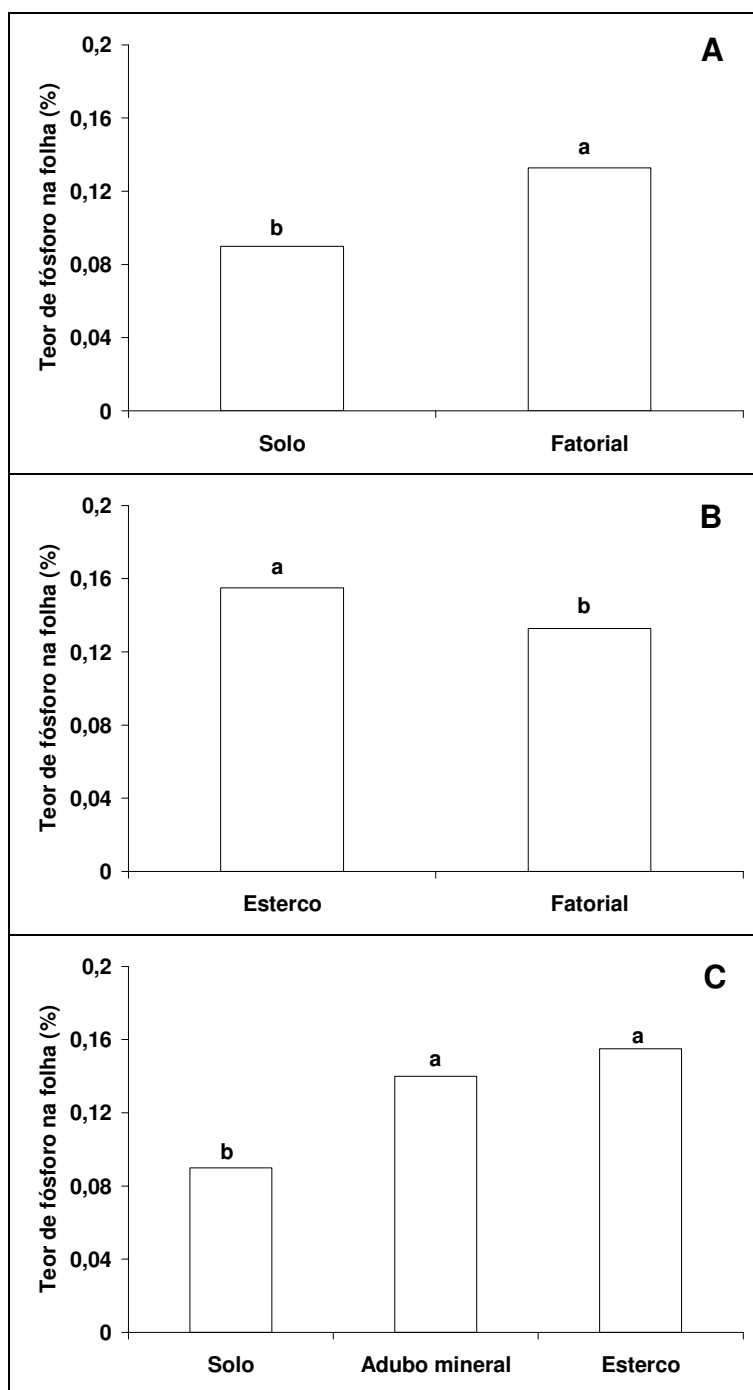
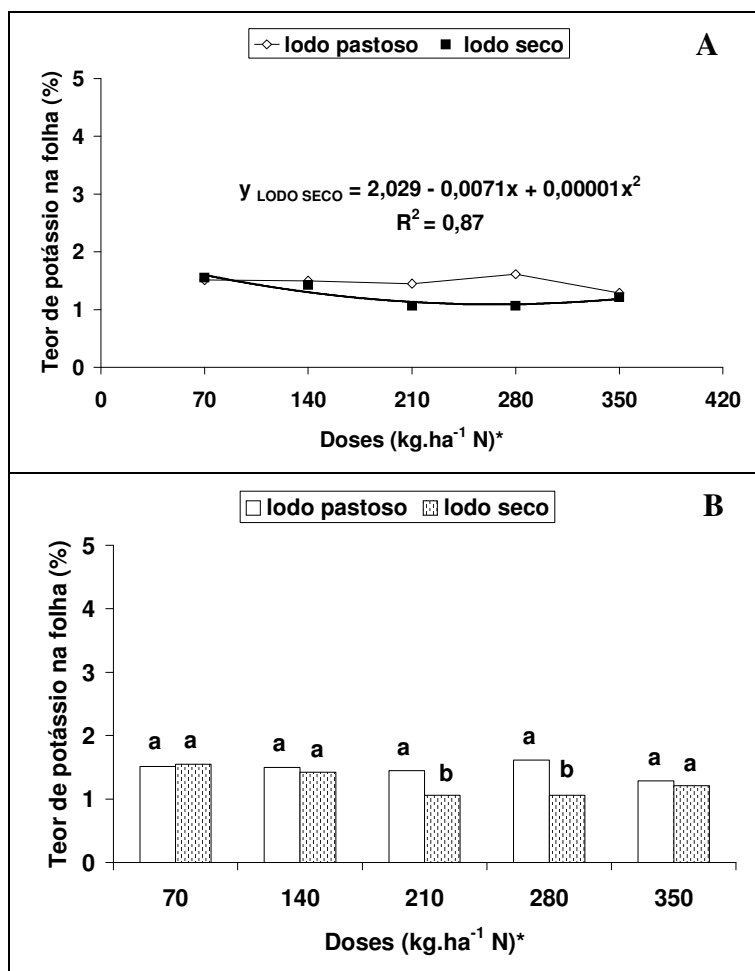


Figura 48-Teor de fósforo em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-B) e entre testemunhas (C).



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 49-Teor de potássio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências (pastosa e seca) de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

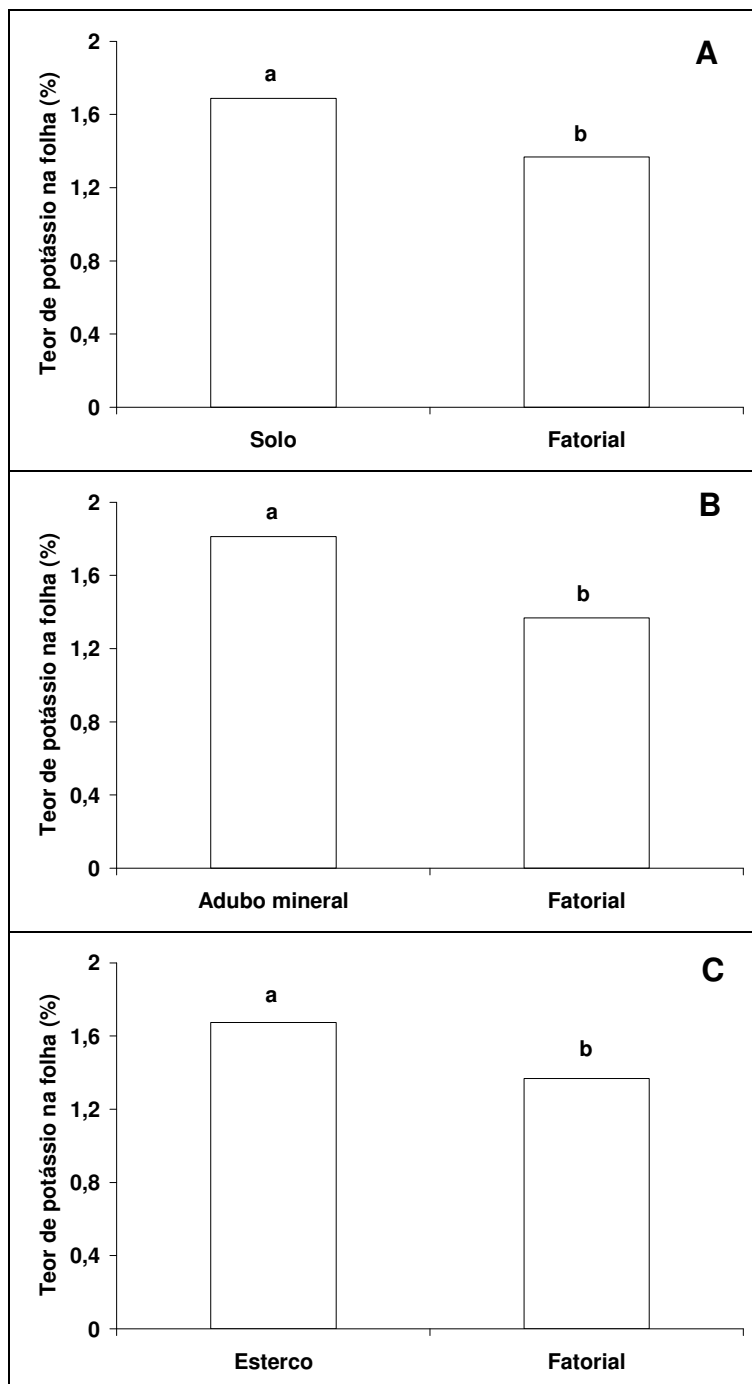


Figura 50-Teor de potássio em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs testemunhas (A-C).

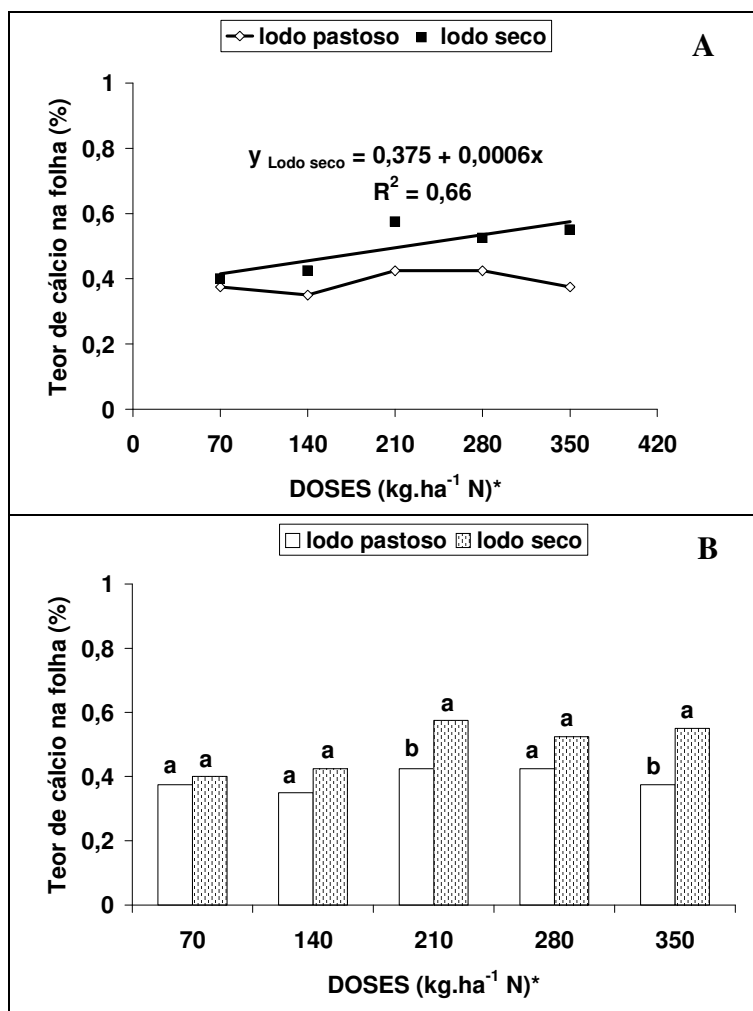
crescentes de lodo seco ao ar, em alguns solos. Geralmente, o bio-sólido é pobre em potássio, portanto, sozinho talvez não seja capaz de suprir as necessidades das plantas em relação ao nutriente, necessitando de complementação mineral. Desta maneira, quando da sua utilização há que se tomar cuidado especial, de modo que o nutriente não venha a faltar, com reflexos negativos na produtividade.

O potássio geralmente encontra-se em baixas concentrações na maioria dos lodos, no entanto, diferente do nitrogênio e do fósforo, todo potássio presente encontra-se na forma inorgânica, tornando-se prontamente disponível às plantas. De acordo com Melo et al. (2001), as formas disponíveis de potássio para as plantas são o potássio trocável e o potássio da solução do solo que se originam da intemperização dos minerais e da decomposição dos resíduos orgânicos incorporados aos solos.

O maior teor de cálcio nas folhas das plantas de milho ocorreu quando estas foram cultivadas com lodo seco (Figura 51A), apenas nas doses de 210 e 350kgN/ha (Figura 51B). Apesar do teor de cálcio no lodo calado ser superior ao do lodo seco, este não promoveu uma maior disponibilidade do cálcio para as plantas. A análise do fatorial versus testemunhas (Figura 52,A e B) permitiu destacar que o maior teor de cálcio foi alcançado quando se empregou o fatorial em relação ao solo (testemunha absoluta) e ao esterco. Outros autores observaram maiores teores de cálcio quando da utilização de bio-sólidos em folhas de cana-de-açúcar (Silva et al.(1998)) e de milho (Berton et al. 1989).

Através dos resultados obtidos, pode-se constatar o efeito residual do lodo seco ao disponibilizar um maior teor de nitrogênio, fósforo e cálcio às folhas de milho, enquanto o lodo calado (pastoso) proporcionou um teor maior de potássio.

De maneira geral, conclui-se que a higienização mais favorável em termos agronômicos foi a secagem, visto que disponibilizou mais nutrientes tanto para o algodão como para o milho e o solo. E, conseqüentemente, promoveu em cada dose estudada, maior crescimento, número de capulho por planta, rendimento (pluma + semente e em pluma) e fitomassa aérea para as plantas de algodão. Para as plantas de milho, verificou-se efeito residual do lodo seco promovendo uma maior crescimento e aumento da área foliar (por folha e por planta) e da fitomassa (aérea e radicular). Com relação à sanidade do lodo, a calagem foi mais eficiente produzindo um lodo classe A, de acordo com a recomendação da USEPA (1992), enquanto que a secagem não conseguiu reduzir os microrganismos patogênicos dentro da faixa estabelecida para um lodo classe B. Ressalte-se, porém, que o tempo de exposição à luz solar (20 dias a uma temperatura de 26-38°C) proporcionou uma redução de duas unidades de log, portanto, se exposto a mais dias de secagem (30-40 dias) teria-se conseguido uma redução de forma a classificá-lo com classe B. A utilização da luz solar visando ao controle de



* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 51-Teor de cálcio determinado em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. B, em cada dose, letras comparam as consistências de lodo, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

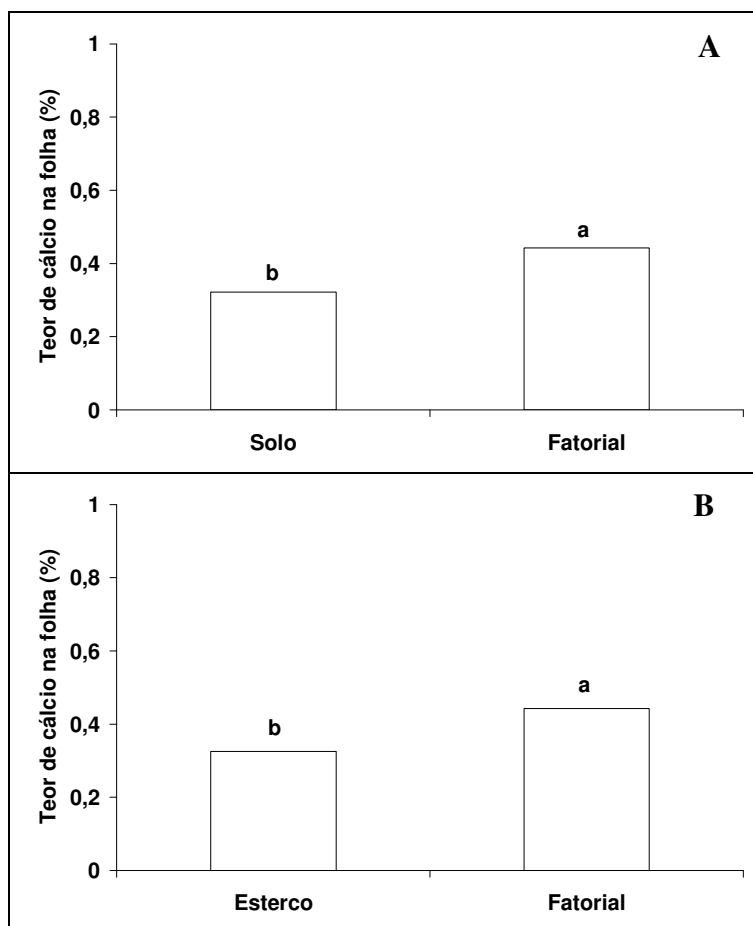


Figura 52-Teor de cálcio determinado em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes consistências de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A) e fatorial vs esterco (B).

microrganismos patogênicos do lodo é um processo de baixo custo, disponível em grande parte da área dos países tropicais e, considerando as características do clima do Nordeste, que, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), encontra-se em uma local privilegiado em termos de insolação, é pertinente a otimização da utilização deste processo de desinfecção.

O sucesso do programa de reciclagem do lodo está associado justamente ao reconhecimento, pelos usuários e pelo público consumidor, dos benefícios que o uso do lodo traz e que os riscos associados ao seu uso controlado não serão maiores que aqueles associados ao uso de outros insumos de uso freqüente na agricultura. Estes benefícios incluem não apenas o aumento de produtividade, a melhoria na qualidade das colheitas e a redução de custos, mas também melhorias sobre a qualidade física, química e biológica do solo, assegurando a longevidade da atividade agrícola. Diversos autores têm demonstrado os resultados favoráveis ao uso agrícola do lodo de esgoto higienizado. Alguns trabalhos com as culturas de milho, feijão, aveia, girassol, cana-de-açúcar, café e também em fruticultura (maçã e pêssigo), têm demonstrado os efeitos positivos e as limitações do uso do lodo na produção agrícola. A deficiência de potássio tem sido freqüentemente observada, em decorrência dos baixos teores deste elemento em praticamente todos os tipos de esgoto de origem doméstica, o que resulta na necessidade de complementação através de fertilizantes minerais, ou da mistura ao lodo de outros subprodutos que possam suprir esta carência, como, as cinzas resultantes da incineração de lenha. Ressalta-se que deve ser analisado o conteúdo de metais pesados destes materiais, para evitar a contaminação do bio sólido (Ilhenfeld et al. 1999; Pegorini & Andreoli, 1999).

O estudo da área de utilização do lodo envolve a discussão de características peculiares a cada região, objetivando encontrar parâmetros de avaliação do potencial da região para a utilização agrícola do lodo. O lodo só poderá ser utilizado na agricultura se satisfizer alguns pré-requisitos que tornem seu uso seguro para os seres humanos, animais e para o ambiente. Adicionalmente, para que a reciclagem seja possível, é necessário que as áreas aptas, utilizadas com as culturas permitidas para uso do lodo, estejam a uma distância economicamente viável dos pontos de geração de lodo. Um fator de importância fundamental é o custo, que deve ser dividido em custos de processamento do lodo, de transporte e de disposição. Nestes itens devem ser avaliados os custos de investimento e os custos operacionais, como também devem ser incluídos os custos administrativos (Lara, 1999; Fernandes et al. 2001).

Considerando que toda atividade ambiental é impactante, o monitoramento de qualquer proposta de desenvolvimento procura avaliar os resultados das medidas

recomendadas visando valorizar os impactos positivos e propor medidas para atenuar os negativos. Os benefícios do lodo às plantações e ao solo (como condicionador) não podem ser avaliados apenas a curto prazo, como por exemplo, em um ciclo anual de produção, mas deve ser avaliado em termos do efeito residual do lodo em diferentes culturas visando, também, à ciclagem dos nutrientes do solo, ao mesmo tempo em que favorece a diversidade da sua população microbiana. Ressalte-se que, a monocultura acarreta o desgaste excessivo do solo considerando os nutrientes necessários àquela vegetação e diminui o número de espécies do ecossistema, propiciando o surgimento de pragas oportunistas. A matéria orgânica, responsável pela fertilidade dos solos e fonte de energia para os microrganismos que o habitam, contribui para melhorar as propriedades físicas do solo como a agregação, porosidade, capacidade de retenção de água (que reduz a erosão) e de retenção de cátions. Além disso, apresenta nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes) que podem ser utilizados pela planta.

Nessa perspectiva, as estações de tratamento de esgotos transformam-se em indústrias de fertilizantes, e os seus lodos, quando tratados adequadamente, em produtos, que ao serem aplicados aos solos a eles devolvem os minerais e a matéria orgânica que um dia foram retirados. Essa nova maneira de ver o problema, aliada a um novo repertório ético, pode ser, também, o caminho para harmonizar as duas esferas, do que depende o presente e o futuro próximo da humanidade. E nisso consiste o desafio do Desenvolvimento Sustentável (Vanzo, 2002).

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A utilização agrícola do lodo de esgoto é viável, mediante o monitoramento de suas condições sanitárias, principalmente no que diz respeito à viabilidade dos ovos de helmintos e presença de coliformes totais e fecais no solo, e sobre o ambiente edáfico, objetivando satisfazer alguns pré-requisitos que tornem seu uso seguro para os seres humanos, animais e o ambiente.
- Dos processos de desinfecção do lodo (calagem a 50% de sólidos totais e secagem ao ar), a calagem eliminou totalmente os microrganismos indicadores de contaminação fecal.
- A dose de 140kgN/ha de lodo seco proporcionou a maior redução de coliformes totais (99,95%) e fecais (99,99%). Para o lodo pastoso(calado) a redução obtida de coliformes fecais (99,99%) foi alcançada para o tratamento que recebeu a dose de 280kgN/ha.
- Independente da consistência de lodo utilizada, houve aumento da concentração de microrganismos indicadores de contaminação fecal no solo com a elevação das doses empregadas.
- O líquido percolado apresentou alta salinidade, com aumento dos íons cloreto e sódio, o que poderá elevar os riscos de salinização do solo e provável deterioração das águas subterrâneas.
- A incorporação do lodo seco ao solo, em cada dose estudada, promoveu um maior crescimento em altura de planta e em diâmetro caulinar, aumento da área foliar (por folha e por planta), da fitomassa (radicular e aérea) e das variáveis de produção, na cultura do algodão herbáceo, BRS verde (experimento I).
- Quanto às variáveis determinadas no solo, no final dos experimentos, constatou-se, para a maioria delas, valores maiores dos tratamentos que receberam lodo seco.

- A incorporação do lodo calado (pastoso) promoveu aumento de pH e maior teor de potássio no solo, enquanto que a incorporação do lodo seco disponibilizou maior teor de nitrogênio, fósforo, sódio, alumínio e matéria orgânica.
- A produção máxima de 12 capulhos/planta (243kgN/ha), o rendimento (pluma + semente) de 47g/planta (300kgN/ha), o rendimento em pluma de 12g/planta (231,5kgN/ha) e a fitomassa aérea de 108g (316kgN/ha), foram obtidos com o emprego do lodo seco.
- O efeito residual do lodo seco nas plantas de milho (experimento II), foi constatado pelo maior teor de nutrientes nas folhas, além de proporcionar um maior crescimento (altura e diâmetro), maior área foliar por folha e por planta, principalmente a partir de 210kgN/ha de lodo seco e em todas as doses para a fitomassa (aérea e radicular).
- O contraste fatorial versus testemunha, indicou que o fatorial se destacou em todas as variáveis, exceto para o potássio no solo, onde as plantas cultivadas em solo (testemunha absoluta), com adubação mineral ou orgânica se destacaram do fatorial. Também o teor de alumínio no solo aumentou quando as plantas foram cultivadas em solo (testemunha absoluta) e com adubação mineral.

7. RECOMENDAÇÕES

Para pesquisas futuras, recomendam-se:

- Realizar ensaios utilizando o lodo em períodos de secagem diferentes;
- Repetir o experimento em condições de campo (sequeiro e irrigado), fazendo rotação de culturas e monitorando os impactos no meio edáfico e no ambiente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁵

AISSE, M.M.; VAN HAANDEL, A.C.; VON SPERLING, M.; CAMPOS, J.R.; CORAUCCI FILHO, B.; ALÉM SOBRINO, P. Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios, In: *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 11, p.271-298.

ANDRAUS, S.; BORGES, J.C.; MEDEIROS, M.L.B. de.; TOLEDO, E.B.S. *Eficiência da calagem na remoção de bactérias entéricas, no lodo aeróbio da ETE – Belém, em Curitiba - PR*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 10, n. 10, p. 57 – 63, Julho a Dezembro, 1998.

ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.; FERNANDES, F.; LARA, A.I. *Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná*, Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 07, n. 07, p. 53–60, Janeiro a Junho, 1997.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. *Principais fatores limitantes (metais pesados e patógenos) para o uso agrícola do lodo de esgotos no Paraná*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 07, n. 07, p. 68–72, Janeiro a Junho, 1997.

ANDREOLI, C.V.; BERNERT, P.M.; FAVARIN, F.; FERREIRA, A.D.D.; *Aceitabilidade pública da utilização de lodo de esgoto na agricultura da região metropolitana de Curitiba*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 12, n. 12, p. 43–52, Julho a Dezembro, 1999.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; FREGADOLLI, P.; CASTRO, L.A.R. de.; *Diagnóstico do potencial dos solos da região de Maringá para disposição final do lodo gerado pelos sistemas de tratamento de esgoto do município*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 13, n. 13, p. 40 – 50, Janeiro a Junho, 2000a.

ANDREOLI, C.V.; CHERUBINI, C.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R. *Avaliação de parâmetros para secagem e desinfecção do lodo de esgoto em condições artificiais (estufa)*, In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, 2000b, Porto Seguro. Anais do IX SILUBESA, Porto Seguro, p.1124 - 1133.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R.; CHERUBINI, C.; BERNERT, P.M.; FAVARIN, F.; CASTRO, L.A.R. de. *Otimização do processo de secagem e desinfecção do lodo de esgoto anaeróbio utilizando leitos de secagem aliados à estufa plástica e biogás*. In: CONG. INTERAMERICANO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII, 2000c, Porto Alegre. Anais do XXVII Cong. Inter. de Eng. Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 9p.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; FERNANDES, F. *Disposição do lodo no solo*, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Cap. 8, p. 319-397.

APHA (American Public Health Association), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th ed., Washington D. C., 1995. 1040p.

APHA (American Public Health Association), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed., New York, 1998. 1527p.

AYRES, R.M.; LEE,D.L.; MARA. D.D.; SILVA, S.A. *The accumulation, distribution and viability of human parasitic nematode eggs in the sludge of a primary facultative waste stabilization ponds*, Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, University of Leeds, v.87, p.256-258, 1994.

⁵ Segundo ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 6023:2000. Informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro, Agosto de 2000. 22p.

AYRES, R.S.; WESCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*, Campina Grande: UFPB, 1991, Estudos da FAO, 218p., 1985.

BATAGLIA, O.C.; BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Resíduos orgânicos como fonte de nitrogênio para capim-braquiária*, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, p.277-284, 1983.

BECKETT, P.H.T. *Critical tissue concentrations as indicators of toxicity*. Suelos Ecuatoriales., Bogota, 1991.

BELTRÃO, N.E. de M. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectiva, In: *O agronegócio do algodão no Brasil/Embrapa Algodão*, v.1, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. Cap.I, p.17-27.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas*, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, n.2, p.187-192, 1989.

BETTIOL, W. CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. *Utilização do lodo de esgoto como fertilizante*. O Solo, Piracicaba, v. 75, n. 1, p. 44 – 54, 1983.

BLANCO, E.; CARDENAS, C.; ISEA, D.; GRANADILLO, V.; GUTIÉRREZ, E.C.; SEPÚLVEDA, J. *Feasibility agricultural use of floating sludge from stabilization ponds*, In: 5th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, 2002, New Zealand. Anais, p. 791-794.

BONNET, B.R.P.; LARA, A.I. de.; DOMASZAK, S.C. *Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto*. Curitiba: PROSAB, 1998. cap. 1. p.11-26.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *The nature and properties of soil*, 12th, Londres, Prentice Hall, 1989. 881p.

BRAMS, E.; ANTHONY, W. *Residual cadmium in a soil profile and accumulation in wheat grain*, Plant and Soil, Dordrecht, v. 109, p. 3-8, 1988.

BUENO, R.C.R. *Biossólido – processo de redução adicional de patógenos com a utilização de energia solar*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. Anais de 21^o Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001. 53p.

CANZIANI, J.R.F.; PEGORINI, E.S.; MASSARDO, M; OSAKI, M. *Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções*. Curitiba: SANEPAR 1999. cap. 5, p. 239-261.

CARVALHO, L.P.; SANTOS, J.W. *Respostas correlacionadas do algodoeiro com a seleção para a coloração da fibra*, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38. n.1, Janeiro, 2003. p. 79-83.

CARVALHO, O.S.; SILVA, O.R.R.F.; MEDEIROS, J.C. *Adubação e calagem*, In: *O agronegócio do algodão no Brasil/Embrapa Algodão*, v.1, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. Cap.VI, p.175-210.

CARVALHO, P. de C.T. de.; *Compostagem*, In: *Biossólidos na agricultura*, São Paulo: ABES, 2002. cap. 6, p. 181-208.

CARVALHO, P. de C.T. de.; CARVALHO, F.J.P. de. C. *Legislação sobre biossólidos*, In: *Biossólidos na agricultura*, São Paulo: ABES, 2002. Cap. 7, p. 209-226.

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN HAANDEL, A.; AISSE, M.M.; CAVALCANTI, P.F.F. *Reatores anaeróbios de manta de lodo*, In: *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*, Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 7, p.155-198.

CHRISTODOULAKIS, R.C. M.; MARGARIS, N.S. *Growth of corn (Zea mays) and sunflower (Helianthus annuus) plants is affected by water and some sludge from a sewage treatment plant.* Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Athenas, v. 57, n. 02, p. 300 – 306, 1996.

CORREA, R.S.; MELO FILHO, B. *Sobrevivência de mudas arbóreas adubadas com composto de lixo ou lodo de esgoto em área degradada no cerrado,* In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, IV, 2000, Blumenau. Anais de IV Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, Blumenau, 2000. 5p.

COSTA, A.N. de.; COSTA, A.F.S.da.; SILVA, A.L.B. da.; ANDRADE, M.C.F. E.; ANDRADE, B.F.E.; GONÇALVES, R.F. *Utilização agrícola de lodo de ETE anaeróbia como fonte de matéria orgânica e nutrientes no mamoeiro,* In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001. 13p.

DAY, A.D.; THOMPSON, R. K.; TUCKER, T. C. *Sewage sludge as a source of fertilizer for barley hay,* Rev. Biocycle, S.l., v. 23, n. 2, 1982. p. 42-44.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. *Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol.* Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 08, n. 08, p. 33 – 38, Janeiro a Junho, 1997.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Aspectos agronômicos, In: *Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções.* Curitiba: SANEPAR, 1999, cap. 4, p. 181-237.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Efeitos da água no rendimento das culturas,* Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo.* Rio de Janeiro: EMBRAPA – SNLCS, 1997. 212p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), *Histórico da EMBRAPA - Algodão,* 2001. Disponível em: <<http://www.embrapa.org.br>>. Acesso: 02/11/2001.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), *Algodão Colorido BRS VERDE,* 2002.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), *Histórico da EMBRAPA Milho/Sorgo,* 2002. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/cultivares>>. Acesso: 20/03/2003.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), *Melhoramento e produção de milho em clima temperado,* Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CNPACT), 2002. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/embrapa>>. Acesso: 20/03/2003.

FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C.; DAROS, E.; PISSAIA, A. *Efeito da adubação orgânica com lodo de esgoto complementada com fertilizante mineral sobre a produtividade do milho e a fertilidade do solo,* Arquivo de Biologia e Tecnologia, Curitiba: SANEPAR, v.40, n.4, p.836-847, 1997a.

FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C.; MOTTA, A.C.V. *Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento do milho.* In: CONG. BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro, Anais do Cong. Bras. de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 1997b. p. 2273 – 2275.

FEACHEM, R.G.; BRADLEY, D.J.; GARELICK, H.; MARA. D.D. *Sanitation and disease – health aspects of excreta and wastewater management,* Chichester: John Wiley & Sons, 1983. 501p.

FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.C. *Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola*. Revista Técnica da Sanepar (Sanare), Curitiba: SANEPAR, v. 06, n. 06, p. 15–21, Julho a Dezembro, 1996.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. da.; BLOCH, M.F.M.; MANGIERI, L.A.L.; BATISTA, G.A. *Possibilidades de gestão integrada do lodo de esgoto produzido em várias ETE's, com base no teor de metais pesados, nutrientes e volume de lodo produzido*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, Rio de Janeiro, Anais 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999. p.531-537.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; IHLENFELD, R.G.K.; ANDREOLI, C.V. *Reciclagem de lodo de esgoto-experiência da região metropolitana de Curitiba*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001. 5p.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; JURGENSEN, D. *Produção e características dos biossólidos*, In: *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: PROSAB, 1999, cap.I, p.16-25.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; PREVEDELLO, B.M.S. *Viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto tratado termicamente em leitos de secagem*, Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 17, n. 17, p. 102–110, Janeiro a Junho, 2002.

FIEST, L.C.; ANDREOLI, C.V.; MACHADO, M.A de M. *Efeitos da aplicação do lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 09, n. 09, p. 48 – 57, Janeiro a Junho, 1998.

GÁLVAN, M.; VICTORICA, J. *Implicaciones sanitarias de la presencia de huevos viables de nematodos en el agua para riego y necesidad de su evaluación rápida*. In: CONG. INTERAMERICANO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVI, Lima. Anais do XXVI Cong. Inter. De Eng. Sanitária e Ambiental, Lima. 1998. 9p.

GAMBALE, W.; PAULA, C.R.; CORREA, B. *Avaliação da microbiota fúngica em lodo digerido submetido a tratamento químico e térmico*, Revista Microbiologia, São Paulo, v. 18, t. 4, p. 363-365, 1987.

GASPARD, P.G.; WIART, J.; SCHWARTZBROD, J. *A method for assessing the viability of nematode eggs in sludge*. Environmental Technology, Londres, v.17, p.415-420, 1996.

GIMENEZ, S.M.N.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; CRUCES, I. I. *Toxicidade de cobre em mudas de cafeeiro*, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.63, p.361-366, 1992.

GIORDANO, P.M.; MAYS, D.A. *Plant nutrients municipal sewage sludges*. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., S.I., v. 20, n. 2, 1981. p. 212-216.

GOMES, L.P.; COELHO, O.W.; FLECK, A.; WEIBUSCH, F. *Critérios para seleção de áreas para valorização agrícola de solos com aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001. 14p.

GONÇALVES, R.F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M.; *Remoção da umidade de lodos de esgotos* In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Cap. 5, p. 159-259.

HARRY, J. *Plano piloto para gestão e reciclagem agrícola do lodo da ETE Belém - proposta de uma metodologia*. Curitiba: SANEPAR, 1995.15p. (Relatório Técnico).

- HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A. Qualidade da água para irrigação, In: *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB, 1997. Cap.5, p.137-169.
- ILHENFELD, R.G.; ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. Higienização de lodo de esgoto, In: *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: PROSAB, 1999. cap.IV, p. 34-45.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*, 3^a ed., Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720p.
- KORCAK, R.F.; *Growth of apple seedlings on sludge-amended soils in the greenhouse*, Communications in Soil Science and Plant Analysis, S.1., v. 17, n. 10, p. 1041-1054, 1995.
- KROHLING, B.; da COSTA, A.N.; GONÇALVES, R.F. *Efeito da composição de substratos com lodos de esgoto de lagoa anaeróbia complementado com potássio no desenvolvimento de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.)*, In: SIMPÓSIO LUSO -BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, Porto Seguro. Anais do IX SILUBESA, Porto Seguro, 2000. p.647-657.
- KUAI, L.; DOULAMI, F.; VESTRAETE, W. *Sludge treatment and reuse as soil conditioner for small rural communities*, Biores. Tech., New Zealand, v.73, p. 213-219, 2000.
- LARA, I.A. Monitoramento, In: PROSAB. *Uso e manejo de lodo de esgotos na agricultura*. Curitiba: PROSAB, 1999. Cap. VIII, p. 83-96.
- LARA, A.I. de.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Cap. 11, p. 465-483.
- LARAQUE, A. *Comportements hydrochimiques des açudes du nordeste brésilien semi-aride*. Evolution et previsions pour un usage en irrigation. Montpellier, Université de Mertz, France. 353p. 1991. (These de doctorat).
- LOURENÇO, R.S.; ANJOS, AR.M. dos.; MEDRADO, M.J.S. *Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão no sistema de produção de bracinga*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1995, Viçosa, MG, Anais do Cong. Bras. de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 1995. p. 2273 – 2275.
- LUCCHESI, L.A.C.; LOGAN, T.J. *Reciclagem de lodos de esgoto estabilizados (N viro soil e composto) e a recuperação de solos do Paraná: idéias, propostas e fatos*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, Rio de Janeiro, Anais 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999. p.575-581.
- LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*, Belo Horizonte: UFMG, 2000. cap. 4, p. 123-157.
- LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Cap. 9, p. 399-423.
- LUE-HING, C.; ZENZ, D.R.; KUCHENRITHER, R. *Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal*. Water Quality Management Library, Madison, v.4, 1992. 663p.
- MADERA, C.A.; PEÑA, M.R.; MARA, D.D.; MUÑOZ, N. *Treatment and disinfection of biosolids from anaerobic ponds: lime application or natural drying?*, In: 5th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, New Zealand. Anais, 2002, p. 761-766.
- MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais e o uso de biossólidos na agricultura, In: *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: ABES, 2002. cap. 12, p. 365-403.

MARQUES, T.C.L.L.de S.M.; MOREIRA, A.M. de S.; SIQUEIRA, J. O. *Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados*, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35. n.01, Janeiro, 2000.

MASHCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*, London: Academic Press, 1986. 674p.

MELO, W.J. de.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. de. *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*, Belo Horizonte: UFMG, 2001. cap. 11, p. 289-363.

MELO, W.J. de.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. de. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo, In: *Biossólidos na agricultura*, São Paulo: ABES, 2002. cap. 11, p. 289-363.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. *Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar*, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W.J. de.; TSUTIYA, M.T.; MARQUES, M.O.; SOUZA, A.H.C.B. *Nível de fertilidade em solos tratados com biossólidos oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo e cultivados com milho*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2000. 11p.

MENDES, J.T.G. *Determinação de parâmetros operacionais para ETE's e pesquisa quanto à disposição do lodo excedente: análise econômica do lodo da ETE Curitiba*, Curitiba: SUREHMA/FINEP, 1981. 43p., (Relatório, 9).

MENDONÇA, L.C.; CAMPOS, J.R. *Caracterização física, química e biológica de biossólidos provenientes de um reator UASB*, In: SIMPÓSIO LUSO -BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, 2000, Porto Seguro. Anais do IX SILUBESA, Porto Seguro, p.735-741.

METCALF, L.; EDDY, H.P. *Water engineering: treatment, disposal and reuse*. 3ª ed., New York: McGraw Hill, 1991. 1334p.

MIKI, M.K.; ANDRIGUETI, E.J.; SOBRINHO, P.A. *Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos*, In: *Biossólidos na agricultura*, São Paulo: ABES, 2002. cap. 3, p. 41-87.

MOLLE, F.; CADIER, E. *Manual do pequeno açude*. Recife: SUDENE, 1992. 511p.

MORAIS, S.M. de J.; ATAÍDES, P.R.V. de.; GARCIA, D.C.; KURTZ, F.C.; OLIVEIRA, O. dos S.; WATZLAWICK, L. F. *Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 06, n. 06, p. 44 – 49, Julho a Dezembro, 1996.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. *Matéria orgânica do solo*, In: *Microbiologia e bioquímica do solo*, Lavras: UFLA, Cap. 5, 2002. 626p.

NEIVA, M.R. *Reciclagem agrícola dos biossólidos da ETE CETREL – uma experiência ambientalmente correta*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro, Anais 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. p.468-477.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. *Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo*. Sci. Agric., Piracicaba, v.52, n.2, p. 361-367, 1995.

OUTWATER, A.B. *Reuse of sludge and minor wastewater residuals*, Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. 179p.

PASSAMANI, F.R.F.; TAVEIRA, E.J.A.; FIGUEIREDO, K.F.; MOTTA, J.S. da.; GONÇALVES, R.F. *Presença e viabilidade de ovos de helmintos em lodo de lagoa de estabilização anaeróbia*, In: SIMPÓSIO LUSO -BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, 2000a, Porto Seguro. Anais do IX SILUBESA, Porto Seguro, p.628-637.

PASSAMANI, F.R.F.; MOTTA, J.S. da.; FIGUEIREDO, K.F.; GONÇALVES, R.F. *Higienização do lodo de um reator USAB com vistas a sua reciclagem na agricultura*, In: SIMPÓSIO LUSO -BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, 2000b, Porto Seguro. Anais do IX SILUBESA, Porto Seguro, p.638 - 646.

PEARCE, R.B.; MOCK, J.J.; BAILEY, T.B. *Rapid method for estimating leaf area per plant in maize*, Crop Science, Madison, v.15, 1975. p. 691-694.

PEDROZA, J.P. *Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico*, Campina Grande: UFCG, 2002. 150p. (Tese de Doutorado).

PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V. Planejamento da reciclagem agrícola, In: *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*, Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. VII, p. 76-82.

PIGOZZO, A.T.; GOBBI, M.A.; LENZI, E.; GALLI, D.; JORDÃO, V.R. *Potencialidade de biossólidos como fonte de micronutrientes no latossolo vermelho escuro*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 5p.

PINTO, M.T.; Higienização de lodos, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Cap. 6, p. 261-297.

POLPRASERT, C.; VALENCIA, L.G. *The inactivation of faecal coliformis and Ascaris ova in faeces by lime*. Water Research Centre, London, v.15, p. 31-36, 1981.

PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), *Manual prático para compostagem de biossólidos*, Curitiba: SANEPAR, 1999. 84p.

QASIM, S.R. *Wastewater treatment plants: planning, design and operation*. 2th ed., New York: Technomic Publishing Company, Inc. 1999.

RADWAN, F.I. *Effect of sewage on sunflower and characteristics*. Annal of Agricol. Sciences, Moshtohor, v. 29, p. 1333 – 1344, 1991.

REIS, M.F.P.; BIDONE, F.R.A.; GEHLING, G.R. *Produção de macro e micro nutrientes através da compostagem de resíduos orgânicos provenientes das podas urbanas codispostos com resíduos da CEASA e lodo de estação de tratamento de esgotos*, In: CONG. INTERAMERICANO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII, 2000, Porto Alegre. Anais do XXVII Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 9p.

REY, I. *Parasitos e doenças parasitárias do homem nas Américas e na África*. 2^a ed., Rio de Janeiro: Guanabara koogan, 1991. 731p.

RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60)

RODIER, J. *Análisis de las águas. Aguas naturales, aguas residuales y aguas del mar*. Barcelona: Editorial Omega S. A., 1989. 629p.

ROJAS, V.N.; GALVÁN, M.; VICTORICA, M. *Evaluacion rápida de la viabilidade de los huevos de helmintos com colorantes biológicos*, In: CONG. INTERAMERICANO DE ING. SANITÁRIA Y

AMBIENTAL, XXVI, 1998, Peru. Anais do XXVI Cong. Bras. de Ing. Sanitária e Ambiental, Peru, 9p.

ROS, C.O.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. *Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaça*, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17, p.257-261, 1993.

SALLES, R.F. de M.; DESCHAMPS, C. *Efeito dos teores de metais pesados nos frutos de macieira (Malus domestica) submetida à aplicação de lodo de esgoto com fertilizante orgânico*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 11, n. 11, p. 44-50, Janeiro a Junho, 1999.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), *Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná*, Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), *Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária*, 2ª ed. rev., Curitiba: SANEPAR, 1999. 81p.

SANTANA, J.C.F.; VANDERLEY, J.M.R.; BELTRÃO, N.E.M.; VIEIRA, D.J. Características da fibra e do fio do algodão: análise e interpretação dos resultados, In: *O agronegócio do algodão no Brasil, Embrapa Algodão*, v.2, cap. XXIX, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

SANTOS, H.F. dos.; Normatização para o uso agrícola dos bio-sólidos no exterior e no Brasil, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Cap. 10, p. 425-464.

SERGIENKO, L.I.; MOSIENKO, TYAN, V.P. *Heavy metal of ecosystems when sewage is used as fertilizer*. Soviety Agricultural, Russia, v.8, p. 55 – 57, 1991.

SAS/STAT, *User's guide*. In: SAS Institute. SAS Online doc: version. Cary, 2000. CD ROM.

SCHWARTZBROD, J.; MATHIEU, C.; THEVENOT, M.T.; BARADEL, J.M.; SCHWARTZBROD, L. Sludge parasitological contamination. In: L'HERMITTE. P. Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes. Congrès d'Athenes (GR), Athenas, 1990. p.11-14.

SILVA, A.M.R.B. da.; KATO, M.T.; FLORENCIO, L.; LIMA, E.S. de. *Avaliação das características físico-químicas de bio-sólidos provenientes de estações de tratamento de esgoto doméstico aeróbio e anaeróbio em Pernambuco*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001a, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 10p.

SILVA, E.L. Solo, In: *Relação solo-água-planta-atmosfera*, Lavras:UFLA/FAEPE, 1999. cap.1, p. 1-33.

SILVA, F.C. da.; 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. n.01, Janeiro,1998.

SILVA, N.L. da., *Utilização de lodo de lagoa de estabilização na cultura de sorgo granífero em casa de vegetação*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 11p.

SILVA, S. M.C.P. da.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V.T.; MORITA, D.M. Principais contaminantes do lodo, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG, 2001b. Cap. 3, p. 69-125.

SILVA, S.M.C.P. da.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D.M. *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*, Belo Horizonte: UFMG, 2001c. cap. 3, p. 69-121.

SOLOV'EV, I. S.; KHOMYAKOV, D. M. *Ecological aspects of using sewage sludge as fertilizer in apple orchards. Soviet Agricultural Sciences*, S.I., n. 06, p. 30 – 33, 1989.

SOUZA, M. L. de P.; ANDREOLI, C.V.; GIOPPPO, P.J.; PAULETTI, V. *Levantamento semidetalhado das terras da região metropolitana de Curitiba – PR, para disposição de lodo de esgoto*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 6, n. 6, p. 64 – 70, Julho a Dezembro, 1996.

STEFANI, M.C.G.; BORGHI, I.N.; MOREIRA, J.S.; VERAS NETO, M.S.; GIUSTI, P.E de. A.; PEGGIANI, F. *Utilização de biossólidos em plantações florestais*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais de 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. p. 771-779.

TAMISO, L.G.; TRANI, P.E; TESARIOLI NETO, J.; BERTON, R.S.; HASS, F.J.; TAVARES. M. *Efeitos do lodo de esgoto sobre o solo e o desenvolvimento da cultura da alface sob cultivo protegido*, Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), 2001. 2p.

TELES, C.R.; COSTA, A.N. da.; GONÇALVES, R.F. *Produção de lodo em lagoas de estabilização e o seu uso no cultivo de espécies florestais na região sudeste do Brasil*. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 12, n. 12, p. 53 – 60, Julho a Dezembro, 1999.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; TRACZ, J. *Eficácia dos diferentes processos do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos*, Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: SANEPAR, v. 8, n. 8, p. 24–32, Julho a Dezembro, 1997.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A. Agentes patogênicos, In: *Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções*. Curitiba: SANEPAR, 1999. cap. 3, p. 121-179.

TOME Jr, J.B.; *Manual para interpretação de análise de solo*, Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TSUTIYA, M.T. *Uso agrícola de biossólidos de estações de tratamento de esgotos sanitários do Estado de São Paulo*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999a, Rio de Janeiro, Anais 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. p.744-752.

TSUTIYA, M.T. *Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999b, Rio de Janeiro, Anais 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. p.753-761.

TSUTIYA, M.T. *Tecnologias emergentes para a disposição final de biossólidos das estações de tratamento de esgotos*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999c, Rio de Janeiro, Anais 20º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. p.762-770.

TSUTIYA, M. *Qualidade de biossólidos produzidos em estações de tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo*, In: CONG. BRAS. DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais de 21º Cong. Bras. de Eng. Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 6p.

TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos, In: *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: ABES, 2002. cap. 4, p. 89-131.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Environmental regulations and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, EPA/625/R-92/013, Washington, 1992. p.149.

UTKHEDE, R.S.; SMITH, E.M. *Evaluation of biological and chemical treatment control of crow gall on your apple trees in the Kootenay valley of British Columbia*. Journal of Phytopathology, Canadá, v. 137, n. 04, p. 265 – 271, 1993.

VANZO, J.E. Horizonte histórico da reciclagem, In: *Biossólidos na agricultura*, São Paulo: ABES, 2002, cap. 1. p.1-5.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R.F. Lodo de esgoto: características e produção, In: *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*, Belo Horizonte: UFMG, 2001, cap. 2, p. 17-67.

WEBBER, M.D.; SHAMESS, A. *Land utilization of sewage sludge: a discussion paper*, Toronto: Expert committee on soil and water management, 1984. 48p.

YANKO, W.A. *Occurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludges*, 1987, In: ENVIRONMENTAL REGULATION AND TECHNOLOGY. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, 1992, Washington. EPA/625/R-92/013, Washington, 1992. p.149.

ANEXOS

Tabela I – Análise de variância e coeficiente de variação para o solo dos experimentos, submetidos a diferentes doses e consistências de lodo, em casa de vegetação

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios							
		CaSOLO	MgSOLO	NaSOLO	KSOLO	ALSOLO	PSOLO	NTOTAL	MOSOLO
Consistência de lodo	1	25,60 ^{NS}	0,22 ^{NS}	38,61 ^{**}	0,05 ^{**}	0,51 ^{**}	33971,41 ^{**}	0,01 ^{**}	379,21 ^{**}
Doses de lodo	4	269,37 ^{**}	3,34 ^{NS}	6,52 ^{NS}	0,01 ^{**}	0,13 ^{NS}	3732,367 ^{**}	0,001 ^{**}	48,57 ^{**}
Doses x Consistência	4	47,35 [*]	1,41 ^{NS}	1,45 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1495,95 ^{**}	0,0004 [*]	18,15 [*]
Doses d/ Lodo Pastoso	(4)								
Efeito linear	1	245,02 ^{**}	-	14,76 ^{NS}	0,02 [*]	0,02 ^{NS}	1055,76 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	14,20 ^{NS}
Efeito quadrático	1	62,16 ^{NS}	-	0,58 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	5,04 ^{NS}	0,00002 ^{NS}	0,67 ^{NS}
Efeito cúbico	1	1,60 ^{NS}	-	1,19 ^{NS}	0,02 [*]	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	3,64 ^{NS}
Desvio da regressão	1	2,41 ^{NS}	-	3,15 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,001 ^{NS}	1,02 ^{NS}	0,00003 ^{NS}	1,33 ^{NS}
Doses d/ Lodo Seco	(4)								
Efeito linear	1	864,90 ^{**}	-	7,06 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	18930,78 ^{**}	0,006 [*]	237,66 ^{**}
Efeito quadrático	1	0,28 ^{NS}	-	3,50 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,28 ^{NS}	103,01 ^{NS}	0,00001 ^{NS}	0,35 ^{NS}
Efeito cúbico	1	3,600 ^{NS}	-	0,29 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,40 [*]	284,25 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,81 ^{NS}
Desvio da regressão	1	86,91 [*]	-	1,37 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,09 ^{NS}	533,43 ^{NS}	0,00005 ^{NS}	2,23 ^{NS}
Fatorial vs solo	1	687,50 ^{**}	0,27 ^{NS}	2,93 ^{NS}	0,09 ^{**}	0,86 ^{**}	6411,03 ^{**}	0,0005 [*]	23,78 ^{**}
Fatorial vs adubo mineral	1	791,14 ^{**}	3,46 ^{NS}	42,59 ^{**}	0,08 ^{**}	0,48 [*]	3500,41 ^{**}	0,001 ^{**}	63,54 ^{**}
Fatorial vs esterco	1	480,91 ^{**}	5,91 ^{NS}	0,08 ^{NS}	1,10 ^{**}	0,05 ^{NS}	1981,95 [*]	0,001 ^{**}	52,99 ^{**}
Tratamentos	12	246,31 ^{**}	2,48 ^{NS}	9,54 ^{**}	0,12 ^{**}	0,22 ^{**}	5425,87 ^{**}	0,001 ^{**}	63,81 ^{**}
Entre testemunhas	2	11,08 ^{NS}	5,08 ^{NS}	11,77 ^{NS}	0,21 ^{**}	0,14 ^{NS}	351,13 ^{NS}	0,00008 ^{NS}	3,01 ^{NS}
Bloco	3	128,20 ^{**}	16,02 ^{**}	14,26 ^{**}	0,03 ^{**}	0,81 ^{**}	788,99 [*]	0,0008 ^{**}	33,36 ^{**}
Resíduo	36	15,93	2,34	3,78	0,004	0,09	280,89	0,0001	4,95
CV%		16,01	16,52	26,09	13,29	89,28	43,67	18,18	18,25

CaSOLO = Cálcio no solo (mmol.dm⁻³); MgSOLO = Magnésio no solo (mmol.dm⁻³); NaSOLO = Sódio no solo (mmol.dm⁻³); KSOLO = Potássio no solo (mmol.dm⁻³); ALSOLO = Alumínio no solo (mmol.dm⁻³); PSOLO = Fósforo no solo (mmol.dm⁻³); NTOTAL = Nitrogênio total no solo (g/kg); MOSOLO = Matéria orgânica no solo (g/kg).

NS, * e **, não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela II – Análise de variância e coeficiente de variação para as variáveis do algodão BRS-verde (experimento I), submetidos a diferentes doses e consistências de lodo, em casa de vegetação

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		NCAP	R(P+S)	R(PLU)	FIBRA	PCAP	COMRZ	FTRZ	FTAREA	ALT	DIAM
Consistência de lodo	1	16,87 ^{**}	6350,40 ^{**}	656,10 ^{**}	233,77 ^{**}	0,02 ^{NS}	1,68 ^{NS}	1,69 [*]	28893,85 ^{**}	15563,03 ^{**}	74,12 ^{**}
Doses de lodo	4	1,42 ^{**}	331,46 ^{**}	33,29 ^{**}	32,61 ^{NS}	0,85 ^{NS}	10,45 ^{NS}	2,59 ^{**}	2682,31 ^{**}	1068,18 ^{**}	12,34 ^{**}
Doses x Consistência	4	0,17 [*]	63,21 ^{**}	6,54 [*]	12,54 ^{NS}	0,34 ^{NS}	27,45 ^{NS}	0,66 ^{NS}	197,10 [*]	58,85 ^{NS}	0,90 ^{NS}
Doses d/ Lodo pastoso	(4)										
Efeito linear	1	1,21 ^{**}	291,60 ^{**}	22,50 ^{**}	43,47 ^{NS}	-	-	7,52 ^{**}	2908,39 ^{**}	1815,76 ^{**}	32,22 ^{**}
Efeito quadrático	1	0,12 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,14 ^{NS}	64,07 ^{NS}	-	-	2,83 ^{**}	78,78 ^{NS}	67,54 ^{NS}	6,11 [*]
Efeito cúbico	1	0,03 ^{NS}	4,90 ^{NS}	0,00 ^{NS}	7,57 ^{NS}	-	-	0,21 ^{NS}	29,14 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,55 ^{NS}
Desvio da regressão	1	0,20 [*]	12,86 ^{NS}	0,36 ^{NS}	7,69 ^{NS}	-	-	0,02 ^{NS}	32,39 ^{NS}	4,13 ^{NS}	0,003 ^{NS}
Doses d/ Lodo seco	(4)										
Efeito linear	1	3,91 ^{**}	970,22 ^{**}	96,10 ^{**}	5,04 ^{NS}	-	-	1,89 [*]	7420,99 ^{**}	2002,22 ^{**}	12,60 ^{**}
Efeito quadrático	1	0,87 ^{**}	220,02 ^{**}	37,78 ^{**}	19,45 ^{NS}	-	-	0,001 ^{NS}	1004,29 ^{**}	325,45 ^{**}	0,70 ^{NS}
Efeito cúbico	1	0,01 ^{NS}	42,02 [*]	0,90 ^{NS}	3,54 ^{NS}	-	-	0,23 ^{NS}	1,40 ^{NS}	38,02 ^{NS}	0,78 ^{NS}
Desvio da regressão	1	0,00 ^{NS}	36,43 ^{NS}	0,51 ^{NS}	29,77 ^{NS}	-	-	0,30 ^{NS}	42,24 ^{NS}	254,60 [*]	0,01 ^{NS}
Fatorial vs solo	1	7,94 ^{**}	1982,63 ^{**}	156,01 ^{**}	64,99 ^{NS}	0,21 ^{NS}	4,28 ^{NS}	24,09 ^{**}	10913,57 ^{**}	9663,28 ^{**}	120,49 ^{**}
Fatorial vs adubo mineral	1	2,96 ^{**}	1158,63 ^{**}	102,14 ^{**}	5,43 ^{NS}	0,42 ^{NS}	25,83 ^{NS}	4,69 ^{**}	6201,31 ^{**}	2327,60 ^{**}	28,38 ^{**}
Fatorial vs esterco	1	2,92 ^{**}	972,08 ^{**}	83,78 ^{**}	0,008 ^{NS}	0,03 ^{NS}	1,04 ^{NS}	13,07 ^{**}	6863,05 ^{**}	2785,11 ^{**}	30,19 ^{**}
Tratamentos	12	2,93 ^{**}	952,89 ^{**}	92,18 ^{**}	40,76 [*]	0,45 ^{NS}	25,94 ^{NS}	4,25 ^{**}	5066,45 ^{**}	2746,92 ^{**}	23,65 ^{**}
Entre testemunhas	2	0,45 ^{**}	54,33 ^{**}	3,25 ^{NS}	32,90 ^{NS}	0,20 ^{NS}	16,40 ^{NS}	2,07 ^{**}	210,08 ^{NS}	843,14 ^{**}	11,37 ^{**}
Bloco	3	0,05 ^{NS}	19,81 ^{NS}	0,85 ^{NS}	13,08 ^{NS}	0,01 ^{NS}	15,60 ^{NS}	0,13 ^{NS}	237,09 [*]	211,89 ^{**}	0,06 ^{NS}
Resíduo	36	0,04	9,81	1,93	18,45	0,47	11,93	0,34	69,41	38,92	1,03
CV%		7,27	14,13	22,16	15,78	19,92	12,44	17,99	15,83	7,53	10,12

NCAP = Número de capulho por planta; R(P+S) = Rendimento (pluma + semente) (g/planta); R(PLU) = Rendimento em pluma (g/planta); FIBRA = Percentagem de fibras (%); PCAP = Peso do primeiro capulho (g); COMRZ = Comprimento da raiz (g); FTRZ = Fitomassa da raiz (g); FTAREA = Fitomassa aérea (g); ALT = Altura de planta (cm); DIAM = Diâmetro do caule (mm).

ns, * e **, não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela III - Quadrado médio referente ao peso de 100 sementes da fibra do algodão BRS-verde (experimento I)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
		Peso 100 Sementes
Bloco	3	2,400 ^{ns}
Tratamentos	1	0,800 ^{ns}
Linear	1	1,225 ^{ns}
Quadrático	1	0,875 ^{ns}
Cúbico	1	0,400 ^{ns}
Resíduo	9	1,067 ^{ns}
CV%		8,465

ns = Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela IV - Quadrados médios referentes à qualidade tecnológica da fibra de algodão BRS-verde (experimento I)

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios						
		COMP	UNF	IFC	RST	ALON	MIC	IF
Bloco	3	0,819 ^{ns}	4,165 ^{ns}	4,301 ^{ns}	0,824 ^{ns}	1,971 ^{ns}	0,0625 ^{ns}	24428,9 ^{ns}
Tratamentos	1	2,083 ^{ns}	0,677 ^{ns}	1,371 ^{ns}	7,029 ^{ns}	1,467 ^{ns}	0,184 ^{ns}	12480,9 ^{ns}
Linear	1	0,171 ^{ns}	1,922 ^{ns}	3,403 ^{ns}	12,96 ^{ns}	4,370 ^{ns}	0,050 ^{ns}	17449,8 ^{ns}
Quadrático	1	5,641 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,681 ^{ns}	0,562 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,302 ^{ns}	16292,6 ^{ns}
Cúbico	1	0,435 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,028 ^{ns}	7,564 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,200 ^{ns}	3700,4 ^{ns}
Resíduo	9	1,761 ^{ns}	1,232 ^{ns}	2,503 ^{ns}	4,229 ^{ns}	0,683 ^{ns}	0,118 ^{ns}	14278,9 ^{ns}
CV%		4,695	1,323	26,732	5,898	6,990	13,377	5,530

COMP=Comprimento da fibra (mm); UNF=Uniformidade de comprimento (%); IFC=Índice de fibras curtas (%); RST=Resistência (gf/tex); ALON=Alongamento à ruptura (%); MIC=Índice Micronaire (µg/in); IF=Índice de fiabilidade.

ns = Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela V – Análise de variância e coeficiente de variação para as variáveis do milho AG 1051 (experimento II), submetidos a diferentes doses e consistências de lodo, em casa de vegetação

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios							
		ALT	DIAM	AFFOL	AFPLAN	FTRZ	FTAEREA	FITOT	COMPRZ
Consistência de lodo	1	2310,40**	75,08**	299428,40**	26399750,00**	32,65**	5620,45**	6509,90**	0,225 ^{NS}
Doses de lodo	4	502,36**	8,62 ^{NS}	36831,95**	3246897,00**	6,29**	824,35**	970,85**	27,35 ^{NS}
Doses x Consistência	4	285,82**	5,44 ^{NS}	4101979**	3617334,00**	2,19**	529,52**	595,07**	37,10 ^{NS}
Doses d/ Lodo pastoso	(4)								
Efeito linear	1	58,81 ^{NS}	0,85 ^{NS}	37,83 ^{NS}	3358,06 ^{NS}	2,42*	76,37 ^{NS}	106,01 ^{NS}	-
Efeito quadrático	1	53,04 ^{NS}	6,34 ^{NS}	64,07 ^{NS}	5550,11 ^{NS}	0,13 ^{NS}	2,52 ^{NS}	1,50 ^{NS}	-
Efeito cúbico	1	13,22 ^{NS}	0,61 ^{NS}	531,44 ^{NS}	46888,21 ^{NS}	0,001 ^{NS}	16,52 ^{NS}	16,73 ^{NS}	-
Desvio da regressão	1	38,63 ^{NS}	0,01 ^{NS}	2496,05 ^{NS}	220410,50 ^{NS}	0,11 ^{NS}	3,92 ^{NS}	5,36 ^{NS}	-
Doses d/ Lodo seco	(4)								
Efeito linear	1	2873,02**	47,63**	279642,10**	24655130,00**	29,86**	5020,74**	5824,98**	-
Efeito quadrático	1	6,45 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	15943,48 ^{NS}	1405546,00 ^{NS}	0,28 ^{NS}	120,42 ^{NS}	132,38 ^{NS}	-
Efeito cúbico	1	77,01 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	1020,11 ^{NS}	90137,89 ^{NS}	0,89 ^{NS}	33,09 ^{NS}	23,10 ^{NS}	-
Desvio da regressão	1	32,57 ^{NS}	0,82 ^{NS}	11671,95 ^{NS}	1029907 ^{NS}	0,23 ^{NS}	141,89 ^{NS}	153,53 ^{NS}	-
Fatorial vs solo	1	1072,66**	23,83*	44698,77**	3940129,00**	9,60**	1081,70**	1295,13**	9,02**
Fatorial vs adubo mineral	1	893,47**	7,75 ^{NS}	52272,06**	4609477,00**	7,96**	1159,57**	1359,74**	28,51 ^{NS}
Fatorial vs esterco	1	39,60 ^{NS}	7,23 ^{NS}	29713,67*	2620200 ^{NS}	4,12**	625,68**	731,40**	16,42 ^{NS}
Tratamentos	12	605,61**	13,75**	59870,96**	5278770,00**	7,09**	1122,84**	1304,49**	26,16
Entre testemunhas	2	231,94 ^{NS}	1,69 ^{NS}	913,95 ^{NS}	80568,13 ^{NS}	0,34 ^{NS}	26,60 ^{NS}	32,52 ^{NS}	22,19 ^{NS}
Bloco	3	392,63**	4,71 ^{NS}	1564,47 ^{NS}	137967,90 ^{NS}	0,10 ^{NS}	53,75 ^{NS}	51,50 ^{NS}	271,64*
Resíduo	36	68,82	3,62	4367,24	384978,80	0,55	56,02	62,88	81,59
CV%		17,93	15,29	26,17	26,16	27,51	31,58	30,04	30,15

ALT = Altura de planta (cm); DIAM = Diâmetro caulinar (mm); AFFOL = Área foliar por folha (cm²); AFPLAN = Área foliar por planta (cm²); FTRZ = Fitomassa da raiz (g); FTAEREA = Fitomassa aérea (g); FITOT = Fitomassa Total (g); COMPRZ = Comprimento de raiz (cm).

NS, * e **, não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela VI - Análise de variância e coeficiente de variação para as plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses e consistências de lodo

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios				
		NFOLHA	PFOLHA	KFOLHA	CaFOLHA	MgFOLHA
Consistência de lodo	1	4,49**	0,01**	0,44**	0,11**	0,16 ^{NS}
Doses de lodo	4	0,57**	0,003**	0,12*	0,02 ^{NS}	0,07 ^{NS}
Doses x Consistência	4	0,17*	0,0004 ^{NS}	0,12*	0,007 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Doses d/ Lodo pastoso	(4)					
Efeito linear	1	0,17 ^{NS}	0,004**	0,04 ^{NS}	0,002 ^{NS}	-
Efeito quadrático	1	0,02 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,004 ^{NS}	-
Efeito cúbico	1	0,01 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,01 ^{NS}	-
Desvio da regressão	1	0,06 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,002 ^{NS}	-
Doses d/ Lodo seco	(4)					
Efeito linear	1	2,39**	0,01**	0,43**	0,06*	-
Efeito quadrático	1	0,0003 ^{NS}	0,000002 ^{NS}	0,24*	0,01 ^{NS}	-
Efeito cúbico	1	0,01 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,001 ^{NS}	-
Desvio da regressão	1	0,32*	0,00004 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,02 ^{NS}	-
Fatorial vs solo	1	0,43**	0,007**	0,37**	0,05*	0,006 ^{NS}
Fatorial vs adubo mineral	1	0,43*	0,0002 ^{NS}	0,72**	0,02 ^{NS}	0,07 ^{NS}
Fatorial vs esterco	1	0,35**	0,001*	0,34**	0,05*	0,002 ^{NS}
Tratamentos	12	0,71**	0,003**	0,22**	0,03*	0,04 ^{NS}
Entre testemunhas	2	0,001 ^{NS}	0,005**	0,02 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Bloco	3	0,07 ^{NS}	0,002**	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,25 ^{NS}
Resíduo	36	0,06	0,0003	0,03	0,01	0,04
CV%		13,84	14,38	12,54	24,81	57,77

NFOLHA = Nitrogênio na folha (%); PFOLHA = Fósforo na folha (%); KFOLHA = Potássio na folha (%); CaFOLHA = Cálcio na folha (%); MgFOLHA = Magnésio na folha (%).

NS, * e **, não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.