

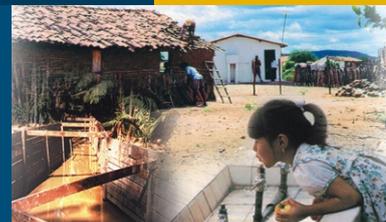
# APLICAÇÃO CONTROLADA DE ÁGUA RESIDUÁRIA E LODO DE ESGOTO NO SOLO, PARA MELHORAR E INCREMENTAR A AGRICULTURA DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

ENGENHARIA DE SAÚDE PÚBLICA

**FUNASA**



RELATÓRIO FINAL



Ministério da Saúde  
Fundação Nacional de Saúde

**Aplicação Controlada de Água Residuária e Lodo  
de Esgoto no Solo, para Melhorar e Incrementar a  
Agricultura do Semi-Árido Nordeste**

**Brasília, 2007**

Copyright © 2007 – Somente versão eletrônica  
Fundação Nacional de Saúde (**Funasa**)  
Ministério da Saúde  
Editor  
Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde  
Núcleo de Editoração e Mídias de Rede/Ascom/Presi/**Funasa**/MS  
Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bl. N, 2º andar - Ala Norte  
70.070-040 – Brasília/DF

Distribuição e Informação  
Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Densp)  
Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bl. N, 6º Andar  
Telefone: 0XX61 314-6262 – 314-6380  
70.070-040 – Brasília/DF

Brasil. Fundação Nacional de Saúde.

Aplicação controlada de água residuária e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semi-árido nordestino – Brasília: Funasa, 2007.

120 p.: il.

1. Água residuária. I. Título.

É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.

## Apresentação

Esta pesquisa foi elaborada e desenvolvida na Unidade Acadêmica de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (PB), com a colaboração da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da mesma instituição. O Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi importante colaborador para o desenvolvimento da pesquisa em casa de vegetação sobre a utilização do lodo de esgoto tratado no cultivo de algodão herbáceo. A Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba (Cagepa) foi importante parceira, com a cessão da área para os experimentos de campo (algodão, capim-elefante e alface) e na disponibilização do efluente final do sistema de tratamento (lagoas de estabilização).



## Participantes

Annemarie König – Unidade Acadêmica de Engenharia Civil/Universidade Federal de Campina Grande

Beatriz S.O. de Ceballos – Unidade Acadêmica de Engenharia Civil/Universidade Federal de Campina Grande

Hans Raj Gheyi – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Campina Grande

Napoleão E. de Macedo Beltrão – Centro Nacional de Pesquisa do Algodão/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)

Roselene de Lucena Alcântara – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais/Universidade Federal de Campina Grande

Márcia Rejane de Queiroz Almeida Azevedo - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais/Universidade Federal de Campina Grande

Olga Eduarda Ferreira – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/Universidade Federal de Campina Grande

Tatiana Lima Tavares Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/Universidade Federal de Campina Grande

Blake Charles Diniz Marques Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/Universidade Federal de Campina Grande

Hugo Barbosa Paiva Junior – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/Universidade Federal de Campina Grande

Andréa Lemos Porto – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica/Universidade Federal de Campina Grande



## Lista de Ilustrações

Figura 1	–	Classificação e utilização do reuso de águas .....	30
Figura 2	–	Localização geográfica do município de Campina Grande (PB) .....	44
Figura 3	–	Planta baixa da ETE de Campina Grande (PB) .....	45
Figura 4	–	Diagrama da área experimental (sem escala), mostrando a localização da área experimental, as caixas de armazenamento da água de abastecimento e tubulação de adução da água residuária tratada oriunda do efluente final da ETE de Campina Grande (PB) .....	46
Figura 5	–	Diagrama das parcelas experimentais (1 a 24) e as parcelas que atuaram como bordadura para evitar a ação dos ventos (B1 a B8), no experimento com capim elefante, conduzido nas dependências da ETE de Campina Grande (PB) .....	46
Figura 6	–	Diagrama mostrando a numeração das parcelas experimentais .....	47
Figura 7	–	Disposição das parcelas experimentais para o cultivo da alface irrigada com água de abastecimento e residuária, em experimento conduzido na ETE de Campina Grande (PB) .....	47
Figura 8	–	Disposição das parcelas experimentais do capim-elefante, mostrando suas dimensões e a distribuição das linhas de plantio e a delimitação da área útil, em experimento conduzido na ETE de Campina Grande (PB) .....	55
Figura 9	–	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	66
Figura 10	–	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	67
Figura 11	–	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	67
Figura 12	–	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	68

Figura 13 –	Número de capulhos 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	68
Figura 14 –	Rendimento (pluma + semente) do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetida a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....	69
Figura 15 –	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	70
Figura 16 –	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	71
Figura 17 –	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....	73
Figura 18 –	Diâmetro de caule 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. Comparação entre consistências (B) e entre fatorial vs solo (C). Em B cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....	73
Figura 19 –	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	74
Figura 20 –	Área foliar por planta em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).....	74
Figura 21 –	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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	75



Figura 22 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) .....	75
Figura 23 – Comprimento de raiz 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 fatorial vs solo (A) .....	77
Figura 24 – Curvas do comportamento das variáveis de crescimento do algodoeiro herbáceo para altura (A e B), diâmetro caulinar (C e D) e área foliar (E e F) quando submetidas à irrigação de água de abastecimento e efluente de lagoas de estabilização, respectivamente .....	82
Figura 25 – Comparação dos índices pluviométricos de 2003 com a média dos últimos 30 anos. O mês de maio também faz parte do período do primeiro corte (13/5) .....	87
Figura 26 – Precipitação pluviométrica durante o período de crescimento que resultaram nos cortes do capim elefante .....	88
Figura 27 – Contaminação do solo irrigado com água de abastecimento e água residuária (efluente), antes e após o período experimental ..	91
Figura 28 – Variação média da altura do capim em experimento com capim elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratadas e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	91
Figura 29 – Modelo quadrático da variação de altura do capim elefante após três cortes e irrigado com diferentes lâminas de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	92
Figura 30 – Variação média do diâmetro de colmo em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratadas e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	92
Figura 31 – Variação média da produtividade de matéria verde em experimento com capim elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	93
Figura 32 – Variação média do teor de matéria seca em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	94
Figura 33 – Variação média do teor de proteína bruta em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	95

Figura 34 –	Modelo quadrático da variação dos teores de proteína bruta do capim elefante após três cortes e irrigado com diferentes lâminas de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) .....	95
Figura 35 –	Variação média dos coliformes termotolerantes em capim elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB) ...	96
Figura 36 –	Valores médios do sódio no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	97
Figura 37 –	Valores médios de cloretos no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	97
Figura 38 –	Valores médios da condutividade elétrica no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	97
Figura 39 –	Valores médios da matéria orgânica no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB).....	99
Figura 40 –	Valores médios de ovos de helmintos no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB).....	100
Figura 41 –	Valores médios de coliformes termotolerantes no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	101
Figura 42 –	Valores médios de <i>E. coli</i> no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	102

Figura 43 –	Valores médios de coliformes termotolerantes em folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	102
Figura 44 –	Valores médios de <i>E. coli</i> em folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	103
Figura 45 –	Valores médios de ovos de helmintos em folhas de alfaces ( <i>Lactuca sativa</i> ), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	103
Figura 46 –	Valores médios da produtividade de alface ( <i>Lactuca sativa</i> ), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	107



## Lista de tabelas

Tabela 1	–	Análises físico-químicas no líquido percolado .....	41
Tabela 2	–	Parâmetros microbiológicos para caracterização das águas de irrigação do solo e da cultura .....	49
Tabela 3	–	Parâmetros físico-químicos, microbiológicos e parasitológicos para caracterização das águas de irrigação .....	52
Tabela 4	–	Valor das lâminas de água residuária tratada utilizadas nos cinco tratamentos experimentais na cultura do capim-elefante .....	58
Tabela 5	–	Datas dos cortes e período de crescimento do capim-elefante .....	59
Tabela 6	–	Períodos experimentais e períodos de duração nos experimentos com a alfaca .....	59
Tabela 7	–	Valores médios referentes à qualidade tecnológica da fibra do algodão BRS – verde .....	71
Tabela 8	–	Características químicas do solo na área experimental localizada na ETE de Campina Grande (PB) .....	79
Tabela 9	–	Características físicas do solo na área experimental localizada na ETE de Campina Grande (PB) .....	80
Tabela 10	–	Resumo da análise de variância para as variáveis número de capulho por planta, peso de 100 sementes, percentagem de fibra, peso de capulho e produtividade de algodão em caroço, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo .....	83
Tabela 11	–	Valores médios das variáveis número de capulhos por planta, peso de 100 sementes, peso de capulho em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo .....	84
Tabela 12	–	Desdobramento da interação tipo de água x doses de nitrogênio para as variáveis percentagem de fibra e produtividade de algodão em caroço, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo .....	85
Tabela 13	–	Valores médios do desdobramento da interação tipo de água x doses de nitrogênio para a variável percentagem de fibra, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo .....	86
Tabela 14	–	Valores médios do desdobramento da interação tipo de água x doses de nitrogênio para a variável produtividade de algodão em caroço, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo .....	86
Tabela 15	–	Média dos parâmetros físico, químicos e microbiológicos do efluente final da ETE de Campina Grande (PB) e utilizado na irrigação do capim-elefante no período de 5/2002 a 10/11/2003 ...	89

Tabela 16 –	Resumo da análise de variância para salinidade do solo em função do tipo de água de irrigação (abastecimento sem cloro – residuária), presença ou não de adubação (estrume) e ciclos de plantio (época) em experimento localizado em Campina Grande (PB) .....	98
Tabela 17 –	Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> – EC e ovos de helmintos) em folhas de alface para o 2º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB) .....	104
Tabela 18 –	Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> – EC e ovos de helmintos) em folhas de alface para o no 3º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB) .....	105
Tabela 19 –	Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> – EC e ovos de helmintos) no solo para o 2º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB).....	105
Tabela 20 –	Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> – EC e ovos de helmintos) no solo para o 3º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB) .....	106

## Sumário

Resumo .....	19
Abstract .....	21
1. Introdução .....	23
2. Objetivos .....	24
3. Revisão de literatura.....	25
3.1. O lodo de esgoto .....	26
3.2. A água residuária .....	28
3.3. Solução ambiental – reuso de água .....	29
3.4. Qualidade de água para reuso .....	33
3.5. Culturas utilizadas .....	35
3.5.1. Algodão ( <i>Gossypium hirsutum</i> L.r. <i>latifolium</i> Hutch) .....	35
3.5.2. Capim elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> ).....	36
3.6. Experiências no Brasil – Prosab .....	37
4. Materiais e métodos .....	39
4.1. Utilização de lodo de esgoto .....	39
4.1.1. Análises realizadas no lodo .....	39
4.1.2. Processos de desinfecção do lodo .....	40
4.1.3. Culturas utilizadas.....	40
4.1.4. Unidade experimental.....	40
4.1.5. Delineamento experimental .....	40
4.1.6. Águas de irrigação.....	41
4.1.7. Líquido percolado .....	41
4.1.8. Variáveis estudadas .....	42
4.1.9. Período experimental .....	42
4.2. Utilização de água residuária no cultivo de algodão, capim-elefante e alface .....	43
4.2.1. Localização da área de estudo .....	43
4.2.2. Áreas utilizadas .....	45
4.2.3. Caracterização físico-química do solo e parâmetros analisados .....	48
4.2.4. Caracterização microbiológica do solo, das culturas e parâmetros monitorados .....	48
4.2.5. Caracterização parasitológica (ovos de helmintos) no solo e nas alffaces.....	50
4.2.6. Águas de irrigação utilizadas nos experimentos .....	50
4.2.7. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos (nas águas de abastecimento e residuária – efluente final) e parasitológicos (água residuária – efluente final) monitorados na caracterização da qualidade das águas de irrigação.....	51
4.2.8. Delineamento experimental .....	53

4.2.9.	Métodos de irrigação.....	56
4.2.10.	Determinação da quantidade de água.....	56
4.2.11.	Períodos experimentais .....	59
4.2.12.	Avaliação do crescimento das culturas.....	60
5.	Resultados .....	61
5.1.	Utilização de lodos de esgoto no cultivo de algodão e milho em casa de vegetação .....	61
5.1.1.	Solo.....	61
5.1.2.	Lodo.....	62
5.1.3.	Esterco .....	63
5.1.4.	Água de irrigação .....	64
5.1.5.	Caracterização bacteriológica e parasitológica dos tratamentos que receberam lodo .....	64
5.1.6.	Teores de metais pesados no solo, lodo seco e calado.....	64
5.1.7.	Características do líquido percolado .....	65
5.1.8.	Análise de crescimento .....	65
5.1.9.	Análise dos componentes de produção .....	66
5.2.	Utilização de água residuária tratada no cultivo de algodão herbáceo .....	78
5.2.1.	Solo.....	78
5.2.2.	Água .....	81
5.2.3.	Características não destrutivas.....	81
5.2.4.	Análise de componentes de produção.....	83
5.2.5.	Características tecnológicas da fibra.....	87
5.3.	Utilização de água residuária no cultivo de capim-elefante .....	87
5.3.1.	Precipitação pluviométrica no período do experimento .....	87
5.3.2.	Água de irrigação .....	88
5.3.3.	Solo.....	90
5.3.4.	Parâmetros de crescimento – altura da planta e diâmetro do colmo .....	91
5.3.5.	Aspectos produtivos - matéria verde e seca .....	93
5.3.6.	Aspectos produtivos - proteína bruta .....	94
5.3.7.	Aspectos sanitários - coliformes termotolerantes e <i>E. coli</i> .....	95
5.4.	Utilização de água residuária tratada no cultivo da alface .....	96
5.4.1.	Caracterização química do solo .....	96
5.4.2.	Caracterização parasitológica do solo .....	100
5.4.3.	Caracterização microbiológica do solo .....	101
5.4.4.	Caracterização microbiológica da alface.....	102
5.4.5.	Caracterização parasitológica da alface.....	103
5.4.6.	Análise de variância - variáveis microbiológicas .....	104
5.4.7.	Produtividade.....	106
6.	Conclusões .....	107
6.1.	Utilização de lodos de esgoto no cultivo de algodão e milho em casa de vegetação .....	107
6.2.	Utilização de água residuária tratada no cultivo de algodão herbáceo .....	108

6.3.	Utilização de água residuária no cultivo de capim elefante.....	109
6.4.	Utilização de água residuária tratada no cultivo de alface.....	110
7.	Recomendações para utilização dos resultados pela <b>Funasa</b> e indicativo de custos .....	111
8.	Referências bibliográficas .....	112





## Resumo

Foi estudada a aplicação controlada de água residuária tratada e lodo de esgoto de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), em solos da região semi-árida do Estado da Paraíba, para viabilizar o aumento da produção agrícola, dependente de precipitações pluviométricas cuja frequência e intensidade é variável, comprometendo a produção e a sobrevivência do agricultor que, sem alternativa, migra até os centros urbanos agravando os problemas sociais. O uso direto de águas residuárias e lodos tratados em atividades agrícolas deve ser estimulado, desde que vantagens e desvantagens sejam conhecidas e com acompanhamento técnico-sanitário: contaminação do solo, cultura, exposição do trabalhador durante o cultivo e consumidores. Os trabalhos foram desenvolvidos na ETE de Campina Grande (PB). Parcelas experimentais foram delimitadas e cultivadas com algodão (uso industrial), milho, capim-elefante (uso animal) e alface (humano). A água de irrigação era do efluente final da ETE e os métodos de irrigação utilizados foram o sulco (algodão), inundação (capim-elefante) e aspersão (alface). Os trabalhos com o lodo de esgoto (reator UASB, tratando esgoto doméstico), foram desenvolvidos em casa de vegetação da Embrapa – CNPA - Campina Grande (PB). A água de irrigação (esgoto tratado) e o lodo de esgoto foram submetidos a análises físico-químicas, microbiológicas e parasitológicas (ovos de helmintos). Os solos das parcelas experimentais (no campo e na casa de vegetação) foram analisados no início e fim dos experimentos. Os parâmetros de produtividade avaliados foram biomassa verde (capim-elefante) produtividade da alface e produção e qualidade da fibra de algodão. Os resultados mostraram que a utilização agrícola do lodo de esgoto é viável, com o devido monitoramento das condições sanitárias (viabilidade dos ovos de helmintos e a presença de coliformes totais e fecais) no solo e cultura e do ambiente edáfico. Há riscos de salinização do solo e deteriorização das águas subterrâneas. O efluente final da ETE, utilizado na irrigação do algodão, capim e alface tinha qualidade microbiológica inferior, adequando-se para culturas de classe B, embora os ovos de helmintos ausentes. A utilização da água residuária no cultivo do algodão herbáceo elevou os teores de potássio e sódio trocável no solo, alertando para a necessidade do seu monitoramento. A produção de algodão em caroço (3.300kg/ha) que correspondeu a 1.200kg/ha de fibra foi influenciada pela água residuária que foi capaz de substituir a adubação nitrogenada mineral em 180kgN/ha. A produtividade do capim elefante foi elevada, nas parcelas que receberam maiores lâminas de irrigação com água residuária: 40,12t/ha (8,8mm) e 39,31t/ha (9,89mm). A proteína bruta esteve acima de 7% necessários para atender às necessidades animais. Houve um aumento da contaminação fecal do capim com a utilização da água residuária (106–104NMP/100ml), comparado aos valores entre 102–103NMP/100ml para água de abastecimento. Nos experimentos com capim e alface, a contaminação fecal do solo foi elevada e transferida, via irrigação (aspersão), para a cultura (alface). Apesar da ausência de ovos de helmintos no efluente final, estes estavam presentes no solo (até 98 ovos/100gS.T.) e nas folhas da hortaliça (até 13 ovos/100g de alface). As folhas da alface continham 105NMP/g de

coliformes termotolerantes e entre 1.500–2.500 E.coli/g. As maiores produtividades da alface (até 2,5kg/m<sup>2</sup>) foram observadas nas parcelas que receberam adubação orgânica (estrume bovino), independente do tipo de água de irrigação recebida.

Palavras-chave: lodo de esgoto, água residuária, reuso, semi-árido, produtividade.

## Abstract

This research aimed the study of controlled application on soils of treated domestic wastewater and sludge in a semi-arid area of Paraíba State - Northeast Brazil, to increase agricultural production. This is dependent of rain whose frequency and intensity are variable, committing production and farmer's survival that without alternative, migrates to urban areas worsening the already existing social problems. The direct use in agricultural activities of treated wastewater and sludge should be stimulated, since advantages and disadvantages are well known together with attendance of technical and sanitarium criterias: soil, culture and workers contamination during cultivation and consumers. The research was carried out at Campina Grande Sewage Treatment Plant (STP). Experimental plots were delimited and cultivated with cotton (industrial use), elephant grass (animal use) and lettuce (human consumption). The wastewater used in irrigation was provided by the STP final effluent and irrigation methods used were furrow (cotton), flood (grass elephant) and aspersion (lettuce). The research using sludge (provided by UASB reactor treating domestic sewage), was developed in greenhouse of Embrapa - CNPA - Campina Grande (PB). The irrigation water (treated wastewater) and sludge were analyzed for physiochemical, microbiological and parasitological (helminth eggs) variables. Soils from the experimental plots (field and greenhouse) were analyzed in the beginning and end of the experiments. The productivity variables were green biomass (elephant grass), lettuce productivity and production and quality of cotton fiber. The results showed that agricultural use of sludge is viable since sanitary conditions are monitored (helminth eggs viability and total and fecal coliforms presence) both in the soil and culture. There are risks of soil salinization and groundwater deterioration. STP final effluent, used in the irrigation of cotton, elephant grass and lettuce had poor microbiological quality adapted for class B cultures, however helminth eggs were absent. The use of wastewater in herbaceous cotton cultivation increased the potassium and exchangeable sodium levels, alerting for the need of soil monitoring. The cotton production in pit (3.300kg/ha) corresponding to 1.200kg/ha of fiber was influenced by the wastewater that was capable to substitute the inorganic nitrogen fertiliser in 180kgN/ha. Elephant grass productivity was high, particularly in plots receiving high wastewater irrigation sheets: 40.12t/ha (8.8mm) and 39.31t/ha (9.89mm). The raw protein was above 7% necessary to assist animal needs. There was an increase of fecal contamination in the grass with the use of wastewater (106-104MPN/100mL), compared to the values between 102-103MPN/100mL when supply water was used. In the experiments with elephant grass and lettuce, fecal contamination of soil was high and transferred, through irrigation (aspersion) to the culture (lettuce). In spite of the absence of helminth eggs in STP final effluent, these were present in the soil (up to 98eggs/100gT.S.) and in lettuce (up to 13 eggs/100g of leaves). These also contained 105MPN/g of coliforms thermotolerants between 1,500-2,500 E.coli/g. The largest lettuces productivities (up to 2.5kg/m<sup>2</sup>) were observed in plots with organic manure, independent of irrigation water used.

Keywords: sludge, wastewater, reuse, semi-arid, productivity.



## 1. Introdução

A necessidade de água para as diferentes atividades humanas, a exemplo do uso doméstico, industrial e agrícola, está aumentando mais rapidamente que o crescimento da população mundial. Porém, a disponibilidade deste recurso natural é cada vez menor, tanto no aspecto qualitativo como no quantitativo. Do total disponível, somente 3,4% é de água doce estando armazenada nas calotas polares, rios, lagos, água subterrânea. Sua utilização pelo homem transforma-a, de potável, em residuária ou esgoto, pela introdução de substâncias indesejáveis de caráter físico ( temperatura), químico (matéria orgânica e sais inorgânicos) e principalmente microbiológico (vírus, bactérias, protozoários e vermes) que alteram sua qualidade.

Com o aumento da população mundial e sua concentração nas cidades (no Brasil, cerca de 80% da população humana vive nas cidades), tem-se como conseqüência a maior demanda de água que resulta em maior geração de esgotos. Pela inexistência de sistemas de coleta e tratamento de esgotos, esses chegam até os corpos receptores que compõem o sistema de drenagem urbana das cidades (riachos, açudes, rios, etc.). Estes se transformam em verdadeiros escoadouros de águas residuárias a céu aberto, propiciando condições ideais para a transmissão de doenças de veiculação hídrica causadas por vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Neste cenário, o tratamento de esgotos torna-se uma necessidade para a melhoria das condições de vida da população. Entre os sistemas existentes, vários são aqueles que produzem efluentes de qualidade aceitável para seu retorno seguro ao ambiente. Entre eles citam-se, no campo do tratamento secundário, os tratamentos biológicos, com ênfase nas lagoas de estabilização, pois eles promovem uma eficiente remoção de matéria orgânica e também dos microorganismos patogênicos e sistemas híbridos (reatores anaeróbios de fluxo ascendentes – UASB - seguido por lagoas de polimento). Porém, os efluentes de lagoas de estabilização ainda contêm concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo e, caso retornem ao ambiente, podem causar um impacto negativo significativo no corpo receptor, ou seja, causar eutrofização, que resulta no crescimento excessivo de algas, modificando as características do corpo aquático tornando-o impróprio para o uso mais nobre que é o abastecimento humano.

O ciclo sanitário da água (captação no manancial, tratamento da água, distribuição, uso humano, esgotamento, tratamento e retorno no ambiente), associado à eutrofização poderia ser minimizado caso a água residuária tratada fosse destinada para atividades que toleram uma qualidade inferior. Entre elas se destaca a agricultura e a aqüicultura (piscicultura). O uso de águas residuárias brutas, parcialmente tratadas e tratadas na produção agrícola, tem sido largamente difundido naqueles países onde os recursos hídricos são escassos, como parte de políticas governamentais. Essa prática é comum em países do Oriente Médio (Israel, Arábia Saudita, Jordânia), da África (Tunísia, Egito, Marrocos, Namíbia), do Sudeste Asiático (China, Cingapura), da Europa (Espanha, França, Alemanha), da América Latina (México, Peru) e nos Estados Unidos e na Austrália. O maior benefício

desta prática é a prevenção do risco de eutrofização, dos recursos hídricos destinados ao consumo humano.

O uso de águas residuárias garante a disponibilidade permanente de água para a produção agrícola e piscícola e contribui para a economia de fertilizantes inorgânicos, pois estes contêm nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, aumentando o rendimento dos cultivos, melhorando a estrutura do solo e ampliando as fronteiras agrícolas. Assim, a atividade agrícola nos cinturões verdes das cidades, onde normalmente se utilizam na irrigação águas superficiais contaminadas com esgotos (uso indireto), coloca em perigo a saúde do consumidor. Sendo uma atividade ilegal e sem acompanhamento técnico, poderia, por meio de ações do estado, tornar-se uma prática legalizada desde que os esgotos fossem tratados adequadamente (uso direto) e mediante propostas de manejo adequado (seleção da cultura, tipo de solo e método de irrigação), tornar-se parte das políticas públicas na preservação dos recursos hídricos. Desta forma, a atividade agrícola seria estimulada, incrementando o abastecimento dos centros urbanos com alimentos e promovendo a recarga de aquíferos.

Na região Nordeste, a escassez da precipitação pluviométrica, cuja intensidade e frequência é variadas e restrita a cinco ou seis meses do ano, faz com que a produção agrícola seja limitada aos meses chuvosos. Caso ocorra uma diminuição dos níveis de precipitação, as conseqüências na zona rural são catastróficas, como o comprometimento da produção agrícola e a sobrevivência do nordestino, pois gera escassez de alimentos, problemas sociais intensos que se traduzem no êxodo rural e migração para os centros urbanos. Esta de dependência climática afeta a vida das populações que têm na agricultura de subsistência o único meio de obtenção de renda e sustento familiar.

A utilização da água residuária tratada seria então uma ação efetiva para garantir a atividade agrícola e proporcionar geração de renda para os pequenos agricultores. Apesar de a irrigação de culturas diversas com águas superficiais contaminadas com esgotos (uso indireto não planejado) ser uma prática comum nas periferias das grandes cidades (cinturões verdes), essa é feita sem nenhum critério técnico/sanitário e agrícola, expondo o trabalhador do campo e o consumidor na cidade aos riscos à sua saúde, além de promover lentamente a salinização do solo. Apesar das desvantagens, os benefícios alcançados ainda são maiores, particularmente se o reuso for feito com acompanhamento correto, isto é seguindo as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), que sugere a utilização de lagoas de estabilização como método de tratamento da água residuária pois propicia condições adequadas para que o sistema produza um efluente cujas características microbiológicas ( $<1000\text{CF}/100\text{ml}$ ) e parasitológicas ( $\leq 1$  ovo de helminto/l) que seja utilizado em irrigação irrestrita inclusive daquelas culturas que são ingeridas cruas.

## 2. Objetivos

- Desenvolver estudos de campo que demonstrem a viabilidade do uso controlado de águas residuárias domésticas tratadas por lagoas de estabilização, na irrigação de culturas de interesse econômico da região nordestina;

- Monitorar, de modo sistemático, a qualidade físico-química das águas residuárias utilizadas particularmente com relação à (2.1) contaminação por microorganismos patogênicos da cultura selecionada e (2.2) à salinização do solo e desertificação;

- Propor métodos adequados de irrigação, para minimizar os riscos de contaminação do trabalhador e do consumidor final do produto.

As culturas de interesse da região utilizadas neste projeto são:

- industrial, representada pelo algodão herbáceo;
- animal, pelo capim-elefante, e
- humana, uma hortaliça, a alface.

### 3. Revisão de literatura

A necessidade da preservação ambiental por meio da consciência ecológica vem, em âmbito mundial, aumentando e não mais permitindo que os resíduos sólidos, líquidos e semilíquidos das atividades humanas doméstica, industrial e agrícola sejam lançados no ambiente sem prévio tratamento.

Os resíduos sólidos de origem urbana, por exemplo, deveriam passar por processo de coleta seletiva para se proceder à reciclagem dos elementos inertes e à compostagem da fração orgânica. As águas residuárias de origem industrial e doméstica devem ser tratadas para a remoção dos componentes indesejáveis como matéria orgânica e inorgânica, microorganismos causadores de doenças, para só então ser devolvidas à natureza aquela fração de reduzido impacto poluidor. Do tratamento do lixo e das águas residuárias são gerados subprodutos: o composto orgânico, o lodo de esgoto e o efluente final das estações de tratamento, com uso potencial na agricultura, cujos elevados conteúdos orgânico e inorgânico constituem hoje um grande desafio para todas as nações preocupadas com a preservação de seus recursos naturais (Silva, 2001). A busca de alternativas para a disposição desses materiais, oriundo de qualquer tipo de tratamento de águas residuárias, enquadra-se na preocupação mundial da Agenda 21 (Agenda 21, 1997), no item sobre o “manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos” que, numa gestão correta, busca a minimização da produção, maximização do reuso e da reciclagem, e na promoção de tecnologias que visem à disposição e tratamento ambientalmente adequados (Von Sperling e Gonçalves, 2001). Entre as alternativas apresentadas para o lodo de esgotos e os efluentes finais, o uso agrícola se apresenta como a mais promissora sob aspecto da viabilidade econômica, sanitária e ambiental, desde que os produtos gerados (o lodo e efluentes finais de ETE) atendam aos padrões mínimos de qualidade. Para efetivar sua utilização há necessidade da definição de políticas baseadas em estudos para definição de critérios agrônômicos, ambientais, sanitários e socioeconômicos (Sanepar, 1999; Andreolli et al., 2000; Who, 1989; Bastos, 1999).

### 3.1. O lodo de esgoto

O lodo de esgoto é definido como um resíduo proveniente do tratamento de águas residuárias tanto domésticas como industriais, com o objetivo de reduzir sua carga poluidora e assim reduzir o impacto no ambiente. O lodo após tratamento, que envolve etapas de higienização, estabilização e secagem, recebe o nome de biossólido podendo ser utilizado, por exemplo, na atividade agrícola. Os lodos são, em geral, ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, e micronutrientes, adequando-se a este uso como adubo desde que sejam adequadamente avaliados os riscos potenciais devidos à presença de elementos traços e microorganismos patogênicos e pelo nível de estabilização que, caso não tenha sido adequado, resulta em produção de odores e atração de vetores (Sanepar, 1999).

Dependendo de sua natureza e origem, são classificados como lodo primário ou bruto (originado da sedimentação primária da água residuária e com coloração acinzentada, de odor ofensivo, de aspecto pegajoso e facilmente fermentável) e lodo secundário, digerido ou biológico (gerado em reatores biológicos sendo constituído de uma mistura de sólidos não-biodegradados do afluente e microorganismos que se desenvolvem a partir da degradação da matéria orgânica presente nos esgotos) (Jordão & Pessoa, 1995). Em estações de tratamento de esgotos, o processamento e a disposição final do lodo são as etapas mais onerosas, consumindo cerca de 60% do orçamento operacional para controle da poluição hídrica (Webber e Shames, 1984). Assim sendo, a questão da disposição final desse material tem alcançado grandes proporções em todos os países, com tendência a agravamento, pois sua produção está ligada diretamente ao percentual do tratamento. Há então a necessidade urgente na busca de alternativas ambientalmente adequadas e economicamente viáveis, que devem se implantadas mesmo antes da própria produção, pois a ausência de uma definição sobre o destino final desse material questiona a própria existência, operação e manutenção de sistemas de tratamento de esgotos (Sanepar, 1999; Ferreira et al., 1999).

No Brasil, pela tendência do aumento nos índices de coleta e tratamento de esgotos nas áreas urbanas haverá um crescimento proporcional na geração de lodo. Em sistemas aerados de tratamento, a média de produção varia de 17 até 27 t/dia de lodo pastoso (20% de sólidos) para cada 100.000 habitantes. O esgoto coletado no país, se devidamente tratado, produziria de 25.000 a 35.000m<sup>3</sup> de lodo primário (com 3% a 7% de sólidos) e de 150.000 a 200.000m<sup>3</sup> de lodo secundário (com 0,5% a 20% de sólidos) por dia. A essas quantidades de lodo produzidas, irão somar-se aquele gerado pela perspectiva de inclusão de 70 milhões de brasileiros urbanos, nos próximos 15 anos, quando da expansão de redes coletoras (Ferreira et al., 1999).

Os lodos de esgotos são concentradores de microorganismos diversos, inclusive os patogênicos, durante o processo de tratamento secundário e alguns desses podem ser favoráveis à ação do produto como condicionadores de solo no processo de liberação dos nutrientes ao sistema solo/planta. Porém, os patogênicos são indesejáveis no produto final quer pelo risco que oferecem à saúde das pessoas que manipulam o lodo, quer pela sobrevivência após a aplicação no solo e nas culturas que porventura mantenham contato direto com o solo (Bonnet et al., 1998). Entre eles, citam-se os helmintos (nematóides

– *Ascaris lumbricoides* sendo o mais importante e cestóides – *Taenia saginata* e *Taenia solium* entre os mais relevantes), por sua capacidade de sobrevivência no ambiente; os protozoários, como a *Entamoeba histolytica*, os fungos, os vírus e bactérias. Todos eles com suas características de resistirem aos diferentes métodos de tratamento do lodo. No Brasil, esses agentes patogênicos constituem o elemento que limita a utilização do lodo na agricultura, mas facilmente controlado através de soluções de higienização que levem à sua eliminação. No estado do Paraná estabeleceram-se os ovos de helmintos e os coliformes fecais como indicadores para a caracterização do perfil sanitário dos lodos com o argumento de que uma vez realizado o controle desses, os demais estarão automaticamente eliminados em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários dos produtos (Ilhenfeld et al., 1999).

Para ser adequadamente utilizados, os lodos de esgoto necessitam passar por processos de tratamento devido a algumas características indesejáveis: odor, presença de microorganismos patogênicos, presença de elementos tóxicos minerais ou orgânicos e dificuldade de desidratação. Entre eles citam-se a compostagem (degradação aeróbia/anaeróbia, que pela elevação da temperatura elimina agentes patogênicos e produz um composto orgânico final estável e rico em compostos húmicos), a calagem (adição da cal virgem ou hidratada na relação 50% em relação ao peso seco, que eleva o pH acima de 12, inativando a maior parte dos microorganismos patogênicos), a irradiação (com raios gama e beta), a pasteurização (manutenção do lodo à 70°C por 30 minutos), solarização (uso da luz solar na elevação da temperatura do material e do seu efeito bactericida).

Os processos de remoção dos microorganismos são classificados pela Usepa (1992) naqueles de avançada redução de patogênicos (compostagem, secagem e tratamento térmico, digestão aeróbia termofílica, irradiação, pasteurização) e nos de significativa redução de patogênicos (digestão aeróbia e anaeróbia, secagem ao ar, compostagem e calagem), cada um com sua capacidade de remoção. O produto final (biossólido) deve então enquadrar-se nas categorias de Lodo Classe A (coliformes fecais <103/gS.T.; *Salmonella spp* <3NMP/4gS.T. e ovos viáveis de helmintos <1/4gS.T.) e Lodo Classe B (coliformes fecais <106/gS.T. em sete amostras por duas semanas; *Salmonella spp.* e ovos viáveis de helmintos não especificados).

Outro aspecto a ser considerado na utilização dos lodos de esgotos na atividade agrícola é a questão dos metais pesados. Do ponto de vista ambiental, metais pesados são aqueles elementos que em determinadas concentrações e tempo de exposição oferecem risco à saúde humana e ao meio ambiente prejudicando a atividade dos organismos. São eles o alumínio, antimônio, arsênico, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco (Silva et al., 2001; Sanepar, 1999; Tsutiya, 2001). Tsutiya (2002) classifica-os como aqueles que oferecem pequeno risco e aqueles que são potencialmente perigosos. Os metais presentes nos lodos são originados das águas pluviais (escoamento de superfícies metálicas, metais dispersos nas emissões gasosas), efluentes industriais (de origem química, fundições, galvanoplastia, etc.) e rejeitos domésticos. O lodo de ETEs que recebem esgotos de origem doméstica contém pouca quantidade de metais pesados, mas é comum ocorrerem ligações clandestinas de pequenas fontes de contaminação, como laboratórios fotográficos e de pesquisa e de análises

clínicas, fábricas de baterias, postos de gasolina e lavagem de veículos que adicionam certa quantidade de metais à água residuária (Jordão e Pessoa, 1995).

Na literatura são extensos os trabalhos que relatam os efeitos no desenvolvimento e no aumento da produtividade com a aplicação de biossólido, com resultados semelhantes a outros produtos de origem orgânica (como esterco animal de origem bovina, suína e avícola) e na melhoria das características químicas e biológicas do solo: feijão preto (Blanco et al., 2002), alface (Tamiso et al., 2001), sorgo (Silva, 2001), mamoeiro (Costa et al., 2001), milho safrinha (Pigozzo et al., 2001), milho (Fernandes et al., 2001; Melo et al., 1994; Berton et al., 1989), café (Krohling et al., 2000), macieira (Salles e Deschamps, 1999), cana-de-açúcar (Silva et al., 1998; Melo et al., 1994), feijão e girassol (Deschamps e Favaretto, 1997), cedro (Morais et al., 1996), milheto (ROS et al., 1993)

### 3.2. A água residuária

A água vem se tornando, cada vez mais, um elemento de disputa entre países e regiões. Segundo o Banco Mundial (1990), as guerras do século XXI serão por causa da água, já que cerca de 250 milhões de pessoas, em várias regiões do mundo, já enfrentam o problema da escassez. Em todo mundo ações governamentais são implementadas buscando soluções e alternativas para o problema da escassez. Israel enfrenta o problema de racionamento de água com programas de dessalinização da água do mar para o consumo humano (usos menos nobres) e reuso de águas servidas para a agricultura; na Europa, em países como, Portugal e Espanha, a falta de água já é um problema grave enfrentado pela população com o desaparecimento, devido a assoreamento, dos rios que atravessam esses dois países (Andrade, 1996). Na Itália existem órgãos jurisdicionais só para decidir os conflitos envolvendo a utilização e domínio das águas (Freitas, 1997).

Em alguns países a situação já é bastante crítica e apresentam um percentual elevado da população sem água potável: Etiópia (83%); Afeganistão (79%); Marrocos (41%); Paraguai (67%); Haiti (60%) e Polônia (11%) (Green, 1998). Também nos Estados Unidos, nos estados localizados em regiões semi-áridas há um rígido controle do uso da água utilizando inclusive monitoramento via satélite, como é o exemplo do sistema de canais para a transposição do rio Colorado (Cirilo, 1999). No Oriente Médio e nos países do norte da África (região denominada por Mena) onde 300 milhões de pessoas vivem com apenas 1% do estoque de água renovável do planeta, faz-se com que cada vez mais sejam implementados sistemas de reutilização de águas como alternativa viável para se enfrentar esse problema (Mancuso e Brega Filho, 2003).

Apesar de deter uma das maiores reservas hídricas do mundo, tendo cerca de 14% da água doce superficial do planeta e 35% do continente americano, o Brasil tem como característica um enorme contraste na distribuição (ANA, 2002). A região Norte se apresenta com maior abundância e disponibilidade de recursos hídricos; nas regiões Sul e Sudeste, onde existe uma maior densidade populacional, o maior parque industrial do país e uma intensa atividade agrícola, não há água suficiente para suprir essa demanda;

na região Nordeste, que inclui a maior parte da região semi-árida do país, o problema é a escassez, onde a disponibilidade hídrica insuficiente ainda sofre com os problemas de falta de saneamento básico. Essas condições desfavorecem o crescimento socioeconômico da região comprometendo seriamente as condições de vida da população.

Nos grandes centros urbanos, onde se localizam cerca de 80% da população brasileira (IBGE, 2000), além de problemas com o abastecimento de água para o consumo humano, existem graves problemas sanitários, decorrentes de despejos de cargas de poluentes industriais e domésticos nos rios e mananciais. A maioria dos rios que cortam as cidades brasileiras serve como destino final para os esgotos gerado pela população. A ausência de redes de coleta e estações de tratamento de esgotos faz com que esses rios recebam o esgoto em vários pontos (poluição difusa) ou ainda nas cidades que possuem a rede coletora, mas não são contempladas com estação de tratamento, há concentração de toda a carga de poluentes em único ponto do rio (poluição pontual).

A distribuição de recursos hídricos no Brasil apresenta situações diferentes como escassez e abundância, como é o caso das regiões Norte e Centro-Oeste, onde existem maior oferta hídrica e menor densidade demográfica; escassez na região Nordeste; baixa oferta nas regiões Sul e Sudeste, onde se localiza a maior parte da população urbana e, portanto exigindo uma maior demanda por recursos hídricos. Na região do semi-árido nordestino os rios não são perenes como em outras regiões do país e, com a chegada da estação seca, os poucos rios existentes secam. A política de recursos hídricos, implantada nos estados que compõem o Nordeste do Brasil sempre priorizou a construção de reservatórios para o abastecimento da população, sem ter havido a implantação de políticas adequadas de gestão desses recursos. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2002), as bacias hidrográficas vêm enfrentando cada vez mais o problema da poluição hídrica em decorrência de desmatamento, expansão urbana desordenada e lançamento de esgoto em rios e córregos. Nesse último caso, o saneamento surge como medida essencial para preservação dos recursos hídricos.

### **3.3. Solução ambiental – reuso de água**

O reuso de água, particularmente o das águas residuárias, tem sido cada vez mais usado como alternativa para enfrentar a escassez de água, tanto na indústria como na agricultura. Significa usar a água previamente utilizada, na mesma atividade ou em outras. A Agenda 21 (1994) dedicou atenção especial ao reuso, recomendando ampliação, divulgação de tecnologia e informação para melhor gestão e projetos. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 1973), classifica as formas de reuso em:

- Reuso indireto – a água utilizada é despejada em meio aquático, passando pelo processo de autodepuração para ser novamente usada;
- Reuso direto – trata-se do uso direto e planejado dessas águas para fins específicos como: irrigação, indústria, recarga do aquífero e uso potável;

- Reciclagem interna – é o aproveitamento pelo reuso interno da água visando ao seu uso original.

O reuso planejado e o não planejado, segundo Lavrador Filho (1989), indicam que este pode ser resultado de uma ação consciente e intencional. Westerhoff (1984) classifica o reuso como potável e não potável, com as subclassificações e finalidades de uso (figura 1).

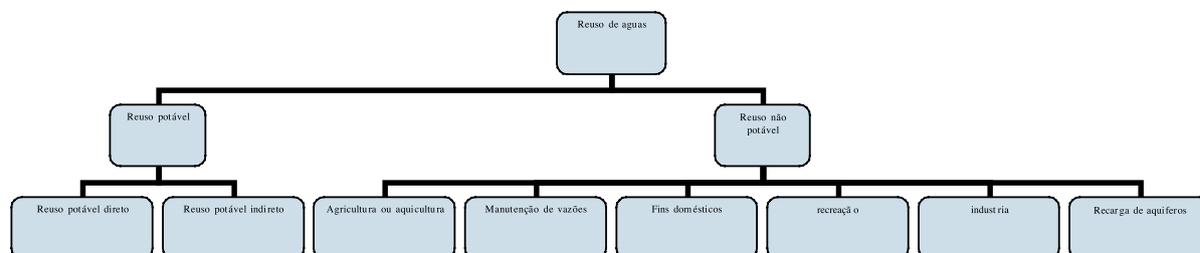


Figura 1 – Classificação e utilização do reuso de águas

Baseado no diagrama proposto por Westerhoff (1984), define-se o reuso potável como:

- Direto – após tratamento avançado, o efluente doméstico é reutilizado de forma direta no sistema de tratamento de água de abastecimento;
- Indireto – após o tratamento, o efluente é lançado no lençol freático visando diluição e purificação natural e depois é captado e usado como água potável.

Devido à complexidade e altos custos associados ao tratamento do esgoto para fins potáveis, essa modalidade de reuso torna-se pouco viável, mas, ainda sim, empregada em alguns países, como a Namíbia que possui, há mais de dez anos, um sistema de abastecimento de água constituído por 15% de esgotos tratados e 85% de água tratada e consegue atender aos padrões de potabilidade propostos pela Organização Mundial da Saúde (Mancuso e Brega Filho, 2003).

O reuso não potável é classificado em:

- Reuso não potável na agricultura e aquíicultura – irrigação de plantas e criação de peixes;
- Reuso industrial – refrigeração, caldeiras e uso no processo industrial;
- Reuso para fins recreacionais – irrigação de campos de esportes, parques e áreas de lazer;
- Reuso para manutenção de vazões – regular a vazão de cursos d’água visando diluição de cargas potencialmente poluidoras;
- Reuso para fins domésticos – irrigação de pastagens, dessedentação de animais, etc.

O reuso não potável implica menores riscos para a saúde e maior aceitação pública e, assim, tem maior viabilidade de execução, mesmo com as dificuldades operacionais e os elevados custos de implementação.

O reuso planejado de águas residuárias na agricultura é, antes de tudo, uma forma de controlar a poluição e buscar uma alternativa de recursos hídricos objetivando um desenvolvimento sustentável. Porém, quando essa prática é exercida de forma inadequada há riscos de sérios impactos ambientais. Podem-se citar os seguintes impactos sobre o uso de águas residuárias:

– Impactos positivos

- Aumento da produção agrícola – a produção de alimentos está associada a um suprimento hídrico que garanta uma agricultura sustentável. O uso de águas residuárias nesta atividade proporciona uma fonte alternativa de recursos hídricos e de nutrientes;
- Diminuição do custo da água industrial – nos processos industriais a água tem um custo elevado, fazendo com que a reciclagem interna e a compra de águas residuárias sejam um fator de economia na produção;
- Diminuição do uso da água para limpeza urbana – o uso de águas residuárias tratadas na limpeza de ruas, irrigação de parques públicos e áreas de lazer constitui uma economia importante de recursos hídricos;
- Aumento da disponibilidade de água para recarga de aquíferos – visa suprir a deficiência cada vez maior de recarga natural de aquíferos devido a crescente impermeabilização do solo urbano;
- Redução da poluição hídrica – a atividade do reuso diminui a carga poluente que seria destinada a rios e mananciais;
- Conservação do solo, pela acumulação do húmus – conserva o solo e o protege da erosão e desertificação;

– Impactos negativos

- Poluição de aquíferos subterrâneos – poluição por assimilação de nitratos em aquíferos destinados a abastecimento humano;
- Aumento da salinidade do solo – a acumulação de contaminantes orgânicos e inorgânicos no solo pode acarretar um considerável aumento na salinidade;
- Riscos à saúde pública – quando não acompanhadas de medidas de planejamento e controle, o uso de águas residuárias pode levar riscos potenciais à saúde do trabalhador e do usuário de produtos irrigados.

O uso de esgotos domésticos para irrigação é comum nas áreas rurais e urbanas das grandes cidades. Trata-se de uma prática antiga e utilizada em vários países do mundo. O uso dessas águas implica principalmente um suprimento de recursos hídricos permanente e adubação do solo, já que há nas águas residuárias uma grande quantidade de nutrientes que são fundamentais para o desenvolvimento da planta. No entanto, ocorre muitas vezes de

forma discriminada e sem o menor controle técnico, ocasionando sérios danos ambientais e principalmente à saúde pública.

O benefício da aplicação de água de esgoto na irrigação tem como uma das principais conseqüências um aumento da área cultivada e na produtividade agrícola, principalmente em regiões semi-áridas como o Nordeste brasileiro. É de fundamental importância que haja a implementação de medidas de controle sobre os tipos de culturas, locais e procedimentos utilizados na irrigação com água de reuso. Essas medidas têm por finalidade diminuir os riscos associados tanto à saúde do trabalhador como da população que vai consumir aquele alimento. Segundo Hespanhol (1994), o aumento significativo do uso de esgoto para irrigação de culturas deve-se aos seguintes fatores:

- Ausência de fontes hídricas alternativas;
- Custo elevado de fertilizantes;
- Quando tomadas as providências necessárias, o risco à saúde pública e os efeitos sobre o solo são mínimos;
- Aceitação por parte da sociedade da prática do reuso para fins agrícolas;
- Reconhecimento dessa prática pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

As águas residuárias são reconhecidas há tempos como adequadas para ser usadas na agricultura, mas seu uso potencial e suas limitações devem ser considerados. Segundo Ayres e Westcot (1991), a atividade agrícola pode tolerar águas com qualidade diversa, muito mais que as atividades humanas e industriais, o que a torna uma boa opção para a utilização das águas residuárias domésticas. Porém, essa utilização depende de planejamento para controle, em longo prazo, dos problemas relacionados com efeitos adversos da salinidade, sodicidade, nutrientes, oligoelementos no solo e seu acúmulo nas culturas. A disponibilidade de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) fez das águas residuárias um insumo importante nos cinturões verdes dos grandes centros urbanos, sendo suficientes para atender à demanda da maioria das culturas com ótima produtividade associada à economia de fertilizantes (Bastos, 1999). A principal limitação do uso agrícola dos esgotos sanitários é a qualidade microbiológica, por ser veículo para a disseminação dos mais variados microorganismos: vírus, bactérias, protozoários e helmintos (Tsutiya, 2001), responsáveis por muitas doenças como hepatite, cólera, amebíase e helmintíases, para citar as mais relevantes (Who, 1989; Mara, 1976; Ceballos, 2000). A literatura indica que quase todos os microorganismos patogênicos conseguem sobreviver, no ambiente, tempo suficiente para representar um risco à saúde, com ênfase naqueles que conseguem sobreviver a períodos mais longos que o ciclo de crescimento das culturas irrigadas, representando um risco às pessoas que manipulam (trabalhadores do campo) e consomem o produto final (Feachem et al., 1983; Caincross, 1992; Leon e Cavallini, 1996). Estudos realizados mundialmente pela Organização Mundial da Saúde (Who, 1989) revelaram que são os nematóides e bactérias intestinais que causam maior freqüência de infecções ou enfermidades quando da utilização de excretas e águas residuárias sem tratamento na atividade agrícola.

Para minimizar estes riscos, há necessidade de tratamento da água residuária doméstica sendo as lagoas de estabilização considerado o método biológico mais adequado e simples

para as regiões tropicais (Silva e Mara, 1979; Silva, 1982; Von Sperling, 1996; Mendonça, 2000), requerendo apenas 20% dos investimentos e 10% dos custos de operação que as outras tecnologias demandam (Cavallini, 2002). As lagoas de estabilização são sistema de grande eficiência na remoção de patogênicos. Este tratamento pode promover uma redução de 108 para menos de 103UFC/100ml, o que corresponde a uma remoção de 99,999%. Séries de lagoas tipo anaeróbia-facultativa-maturação, com tempos de detenção hidráulica variando de 10 a 30 dias, podem atender às diretrizes da OMS (WHO, 1989) no que diz respeito a coliformes fecais e ovos de helmintos (Hespanhol, 2003b). O sistema oferece algumas desvantagens, principalmente com relação à área requerida para o projeto e maus odores devido à formação de sulfetos. As lagoas de estabilização podem ser usadas em sistemas mistos, como, por exemplo, no pós-tratamento de reatores UASB (reatores anaeróbios de fluxo ascendente), tendo como principal objetivo a remoção de patogênicos e a adequação às normas sanitárias vigentes.

### 3.4. Qualidade de água para reuso

A qualidade física, química e bacteriológica da água para reuso é fator primordial para os usos específicos dessa água. É, portanto, necessário estabelecer critérios de qualidade que levem em conta a aplicação desta água, a fonte geradora e o tipo de tratamento associado. Dependendo da sua utilização são considerados vários aspectos como:

- Proteção à saúde pública – requer uma avaliação muito criteriosa devido à presença de agentes patogênicos nos efluentes domésticos;
- Legislação aplicada – leis que vão regulamentar as finalidades, formas e padrões para o reuso;
- Critérios técnico-científicos – controle na eliminação de despejos industriais nos esgotos domésticos e aplicação de sistemas de tratamento adequados para os diversos fins;
- Método de irrigação – a escolha do método de irrigação adequado implica menores riscos para os trabalhadores e melhor eficiência de irrigação.

A maioria dos critérios de qualidade para a prática do reuso são voltados para a minimização dos riscos à saúde pública, devido à presença de organismos patogênicos causadores de doenças. Para haver maior controle no uso de esgoto na agricultura, visando reduzir os riscos de contaminação, é necessária a adoção de medidas de controle como: escolha do método de irrigação, tratamento do esgoto, proteção ao trabalhador e restrição do tipo de cultura irrigada.

Para o uso agrícola de efluentes, são geralmente utilizadas as recomendações da Organização Mundial da Saúde, os padrões de qualidade do estado da Califórnia (EUA) e as recomendações da Agência de Proteção Ambiental dos Estado Unidos (EPA). Os critérios para uso de efluentes para a irrigação foram desenvolvidos pela OMS, a partir de evidências epidemiológicas, modelos teóricos e um vasto conjunto de informações sobre

a remoção de organismos patogênicos em sistemas de tratamento, particularmente lagoas de estabilização de países em desenvolvimento onde predominam as doenças causadas por helmintos em relação a outras doenças. Shuval et al. (1986), após minuciosa revisão de estudos epidemiológicos envolvendo o uso de águas residuárias, chegou às seguintes conclusões:

- A irrigação de culturas utilizando águas residuárias não tratadas causa um elevado número de infecções endêmicas, por nematódeos intestinais, em consumidores dessas culturas e trabalhadores dos campos de irrigação, principalmente se estes trabalhadores trabalharem descalços e sem nenhuma proteção;
- A irrigação de culturas utilizando água residuária tratada não causa um número alto de infecções para trabalhadores e consumidores desses produtos;
- A cólera e provavelmente a febre tifóide podem ser transmitidas com a irrigação de verduras com água residuária não tratada;
- Gado que utiliza pastagens irrigadas com águas residuárias não tratadas pode se infectar com *Cysticercus bovis* (*Taenia saginata*); porém existe pouca evidência de risco de contaminação humana;
- Não está comprovado que pessoas que residem próximo às áreas de cultivo com águas residuárias e que tenham bons hábitos de higiene sejam afetadas pelo contato direto com o solo e com agricultores;
- A irrigação com águas residuárias, tratadas por aspersão, promove a transmissão de certa quantidade de vírus excretados; porém, sendo pouco comum a ocorrência de enfermidades por esta via.

Com base nas evidências existentes, a OMS recomenda o padrão parasitológico de < 1 ovo de helminto/L de efluente e um padrão bacteriológico, mais flexível que o norte-americano, de <1.000CF/100mL para irrigação irrestrita, ou seja, daquelas culturas a serem consumidas cruas (WHO, 1989). Desde sua publicação, muitos são os estudos conduzidos em várias partes do mundo onde o reuso planejado é uma realidade, visando avaliar os riscos potenciais e reais envolvidos no uso das águas residuárias, com propostas de revisão dos critérios existentes (Blumenthal et al., 2000), sugerindo padrões mais exigentes na qualidade parasitológica de <0,1 ovo de helminto/L, para a irrigação irrestrita (categoria A), a ser seguido durante o período de irrigação e na categoria B (irrigação de cereais, culturas industriais e forrageiras, prados e árvores) caso os trabalhadores envolvidos sejam crianças com idade inferior a 15 anos.

Na América Latina, mais de 500.000ha são irrigados com águas residuárias sem tratamento em sua maior parte (Cavallini, 2002) destacando-se a cidade do México, onde 108m<sup>3</sup>/s são aproveitados na irrigação de extensas áreas com cultivos diversos. Grande parte desse volume (3,4km<sup>3</sup> anuais) não recebe nenhum tratamento (91,8%) e são utilizados em 26 distritos de irrigação. O Peru é outro país que adotou o reuso como parte de sua política de recursos hídricos, com cerca de 4.000ha irrigados (Leon & Cavallini, 1996). Em esfera mundial, os exemplos bem-sucedidos são muitos e sempre associados a planos e programas governamentais, destacando-se Israel onde cerca de 70% das águas residuárias

são reaproveitadas na irrigação após tratamento adequado e seguindo recomendações de ordem ambiental e sanitária (EPA, 1992).

No Brasil, a atividade agrícola consome cerca de 68%, mas devido ao crescimento das áreas irrigadas, este valor pode chegar a 80% nos próximos dez anos, aumentando os conflitos de uso que hoje ocorrem na grande maioria das bacias hidrográficas brasileiras, especialmente naquelas com desenvolvimento agrícola e urbano significativo (Hespanhol, 2003a). No entanto, embora a irrigação seja vista como grande vilã ao consumir tanta água, sem ela grandes extensões de terras férteis hoje ocupadas por lavouras que representam o sustento de comunidades prósperas seriam terras áridas e abandonadas (Bezerra et al., 1999). Neste cenário a opção de uso de águas residuárias ou reuso de águas é importante e em algumas regiões pode ser uma das poucas alternativas de sobrevivência (Leon E Cavallini, 1996), principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde a água é o fator limitante para o desenvolvimento urbano, agrícola e industrial.

Na região nordestina, particularmente nas capitais, o racionamento de água para atividades domésticas é realidade em épocas de escassez prolongadas de chuvas, limitando inclusive as atividades simples do cotidiano como a higiene pessoal. Os problemas se agravam quando a falta de chuvas dificulta a atividade agrícola, estimulando a migração para as cidades e agravando os problemas urbanos já existentes. O reuso de água, particularmente na agricultura, deve ser uma prática a ser defendida para a região Nordeste (Mota et al., 1997), pois preservaria as águas superficiais (hoje os receptores dos esgotos urbanos tratados, parcialmente tratados ou mesmo não tratados) para usos mais nobres como o abastecimento urbano, além de representar uma economia substancial de fertilizantes químicos, estes muitas vezes inacessíveis aos pequenos produtores rurais e antieconômicos principalmente em função do risco de falha na produção pela falta de água. Desta forma, a agricultura nordestina se restringe a pequenos produtores, em pequenas propriedades e em regime familiar, mas, com grande potencial para produção de culturas típicas da região, destacando-se o algodão (Beltrão, 1999).

### 3.5. Culturas utilizadas

#### 3.5.1. Algodão (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch)

O algodão herbáceo ou anual é uma planta de grande complexidade morfológica. É de origem tropical e subtropical, cuja boa produtividade necessita de dias ensolarados com menos de 30% de nebulosidade, temperatura do ar acima de 20°C, umidade relativa do ar próxima de 60%, inexistência de inversão térmica e chuvas entre 500mm e 1.800mm anuais. Essas devem estar distribuídas regularmente nos períodos de floração, crescimento e desenvolvimento do fruto, com escassez hídrica e radiação solar intensa na época da colheita, sendo, o primeiro, fator determinante para a abertura dos frutos junto com o hormônio etileno (Beltrão e Azevedo, 1993; Amorim Neto et al., 1998). Para uma boa produtividade (2.500kg/ha) há necessidade de cerca de 700mm distribuídos ao longo do ciclo de crescimento. O algodoeiro prefere solos bem drenados e de boa fertilidade, mas,

por ser uma cultura de ampla adaptação, é cultivado em vários tipos de solo desde que se proceda às correções para atender a suas necessidades básicas (Medeiros et al., 1999).

No Brasil e no mundo, o algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* Hutch), é uma das culturas mais exploradas e, no Nordeste foi e é uma das culturas de grande importância socioeconômica pois um enorme contingente de mão-de-obra depende direta ou indiretamente de sua exploração. Hoje, ocupa cerca de 172,1 mil hectares, mas já chegou a ocupar 3,2 milhões de hectares no início da década de 1980. A redução foi associada aos prejuízos causados pela infestação do bicudo (*Antronomus grandis* Boheman) e pelos elevados custos com fertilizantes e inseticidas, a falta de competitividade da agricultura familiar com os grandes empreendimentos agrícolas e a instabilidade do clima (períodos de secas prolongadas). O cultivo de algodão no Brasil de hoje é restrita a algumas áreas do Nordeste (cerrado do Maranhão e Bahia), onde há disponibilidade de água para irrigação e no cerrado de Mato Grosso (Anuário Brasileiro de Algodão, 2002).

### 3.5.2. Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*)

O capim-elefante é uma gramínea de origem africana, mais precisamente da África Tropical (atual Zimbábue), descoberta em 1905 (Pereira, 1994). É bastante cultivado em regiões tropicais e subtropicais. Foi introduzido no Brasil em 1920 ganhando destaque pela alta produtividade e qualidade nutricional. Os tipos cultivares mais conhecidos são o Napier, Merker, Anão, Cameroon e Roxo. Essa planta apresenta elevado potencial de produção sendo utilizada com sucesso em sistema de corte. As capineiras bem manejadas constituem uma forma racional e econômica de alimentar animais domésticos durante o período de seca, quando há escassez de alimentos. A qualidade do capim é condicionada pelo seu desenvolvimento fisiológico e pode ser avaliada, segundo Ribeiro et al. (1999), por meio de sua composição bromatológica, digestibilidade, consumo e produção animal. As plantas forrageiras têm a capacidade de rebrotar após cada corte ou pastejo, por intermédio de reservas que são acumuladas principalmente nas raízes. A concentração das reservas de carboidratos presentes no momento do corte ou pastejo têm influência direta na intensidade e velocidade da rebrota, devendo-se evitar a alta frequência de corte ou cortes muito baixos, promovendo períodos de descanso necessário para a boa recuperação das plantas (Fonseca et al., 1998).

### 3.5.3. Alface (*Lactuca sativa* L.)

Planta herbácea do grupo das Lactucas, a alface é uma planta composta, de ciclo anual, presa a um pequeno caule carnoso e esverdeado, com folhas simples lisas ou crespas, de coloração verde, arroxeada ou amarela. Pode ou não formar “cabeça”, dependendo da variedade. Na fase reprodutiva, emite uma haste com flores amarelas agrupadas em capítulo. Suas sementes podem ser aproveitadas para novos plantios. Da planta florescente se extrai em quantidade uma substância leitosa e amarga chamada lactarina, muito usada em cosméticos para rejuvenescer a pele. As partes usadas são as folhas, muito apreciadas em saladas, que são levemente laxantes, diuréticas, antiácidas e recomendadas contra

reumatismos. O suco cru e o chá das folhas, talos e raízes da alface são soníferas, calmantes do estômago, do sistema nervoso, contra a tosse e icterícia. Contém vitamina A (2,3mg/g de matéria seca), C, fósforo, ferro (0,31mg/g), cálcio (0,45mg/g), K (2,4mg/g) e conteúdo protéico de 18mg/g. Os cultivares podem ser divididos em crespa, americana, manteiga, mimosa e de folha roxa. A alface é originária da Ásia e por volta de 4.500 a.C. já era conhecida no antigo Egito; chegou ao Brasil no século XVI por intermédio dos portugueses.

### 3.6. Experiências no Brasil – Prosab

No Brasil, a utilização indireta de águas residuárias em atividades agrícolas é uma realidade, particularmente nos cinturões verdes dos grandes aglomerados urbanos, onde o pequeno agricultor usa as águas superficiais poluídas por esgotos de diversas origens, para irrigar culturas. Experiências acadêmicas são diversas e isoladas no Brasil, ao longo do tempo, sempre buscando destacar a importância e a necessidade do uso controlado de águas de qualidade inferior para atividades menos exigentes.

Um grande salto para maior conhecimento da potencialidade do uso das águas residuárias foi dado com o Programa de Saneamento Básico, que em seu Edital nº 3 propôs a abordagem dos aspectos sanitários do tratamento dos esgotos e seu destino final, particularmente quando hoje são temas constante de discussão a preservação dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) e a necessidade do aumento da produção de alimentos em consequência do aumento da população. A rede de pesquisa, envolvendo profissionais de diversas universidades brasileiras, abordou os mais diversos aspectos da utilização das águas residuárias e os resultados encontram-se numa publicação intitulada "Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura" (Bastos, 2003). As mais diversas culturas foram objeto de investigação, desde aquelas destinadas a consumo humano (acerola, pimentão, arroz, hortaliças, feijão), uso industrial (mamona, algodão, girassol, gergerlim) e animal (milho, capins diversos, sorgo) submetidas a diversos métodos de irrigação como gotejamento, inundação subsuperficial, rega manual, sulcos e escoamento superficial. Os efluentes destinados a irrigação eram oriundos de sistemas de tratamento do tipo anaeróbio (Uasb), seguido de lagoas de polimento (uma das grandes contribuições de editais anteriores do Prosab e hoje adotado como o melhor sistema para o tratamento de esgotos domésticos), lagoas de estabilização anaeróbia + lagoa facultativa com o efluente sendo submetido ou não à desinfecção por UV e cloro, efluentes de filtros anaeróbios ou com o efluente do Uasb sendo lançado diretamente ao solo. Com essa grande variabilidade de tipos de tratamento, a qualidade microbiológica e parasitológica resultante também foi bastante variável, desde completa ausência desses indicadores quando a raios UV + cloro eram aplicados na desinfecção do efluente, até valores de  $5,2 \times 10^6$  NMP/100ml de *E. coli* acompanhado por 132 ovos/L de helmintos para o tratamento do esgoto via Uasb seguido de lagoa de polimento.

À vista da necessidade de compatibilizar a grande variabilidade de tratamentos dos esgotos disponíveis e da qualidade do efluente final, o reuso dos efluentes só será bem-sucedido por meio dos quatro pilares que sustentam uma agricultura sustentada: o tipo de solo, a qualidade da água de irrigação, a cultura a ser utilizada e o melhor método de irrigação.

As experiências relatadas dão um enfoque às recomendações da OMS quanto à qualidade microbiológica e parasitológica do efluente. Mostrou que, a aplicação de um efluente com qualidade inferior ( $5,2 \times 10^6$  NMP/100mL de *E. coli* e 132 ovos/L de helmintos) e, portanto não atendendo aos critérios de irrigação irrestrita, produziu pimentões (de ingestão crua) onde não foram detectados nem a presença de *Salmonella spp.* nem densidades detectáveis de coliformes fecais, simplesmente porque se adotou um sistema de irrigação por gotejamento e a cultura escolhida é uma que se desenvolve acima do solo, o que minimizou o contato da planta com a água de irrigação, reduzindo os riscos de contaminação. Essa forma de manejo reduziu os riscos à saúde, havendo até a possibilidade de dispensar as exigências de qualidade microbiológica do efluente. No caso de hortaliças, que são consumidas cruas, deve-se lembrar que sua contaminação é dependente da qualidade bacteriológica da água de irrigação, mas também do contato solo-água-planta. O manejo faz-se então por meio da seleção da cultura, ou seja, aquelas que crescem junto ao solo (alface, rúcula e espinafre) que devem ser irrigadas com efluentes de melhor qualidade e resultou numa contaminação entre 16 e 5,8 org/g, qualidade bacteriológica plenamente aceitável pelos critérios da Anvisa (2001). À medida que a qualidade bacteriológica do efluente foi se deteriorando, houve também uma piora na qualidade microbiológica dessas hortaliças, mas para aquelas cultivadas distantes do solo (pimentão e couve), a contaminação foi reduzida (18 e 60 *E.coli*/g), com qualidade excelente segundo a normatização da Anvisa (2001).

Uma cultura industrial de grande relevância nacional é o algodão. Recentemente, a Embrapa – CNPA (Campina Grande - PB) vem desenvolvendo cultivares de algodão herbáceos cujas fibras são naturalmente coloridas e o produto final, a fibra para a indústria têxtil, tem despertado muito interesse pelo seu apelo ecológico/ambiental. Cultivares marrom (BRS 200) e verde (CNPA 7H) também foram objeto de estudo do prosab, em experimentos com a utilização da água residuária e lodos oriundos de sistemas de tratamento de esgotos, com a finalidade de substituir a adubação nitrogenada. Esses experimentos em casa de vegetação e descritos por Marques et al. (2003) mostram que ambos cultivares responderam bem tanto à aplicação de água residuária como de lodo de esgoto para alguns parâmetros de produção como peso de cem sementes, peso da pluma e peso do algodão em caroço, com ênfase para o algodão marrom cuja porcentagem de fibra atendeu aos padrões requeridos pela indústria têxtil e concluíram que a água de abastecimento e de água residuária juntamente com o lodo de esgoto como fonte de nitrogênio podem ser considerados como uma boa alternativa para a cultura do algodoeiro.

Quaisquer que sejam as culturas estudadas, o método de irrigação aplicado, o tipo de solo utilizado e a qualidade da água aplicada, a agricultura irrigada tem impacto sobre as águas subterrâneas e poderá vir a ser, num futuro próximo, um problema ambiental de magnitude considerável, particularmente em regiões áridas com solos rasos e permeáveis. Trabalhos experimentais de longa duração realizados por Kardos & Hook (1976) citados por Marques et al. (2003), mostraram que após nove anos de aplicação de águas residuárias em solos com forrageiras (um para rotação e outro em rotação com o milho), evidenciaram 96% nos teores de fósforo adicionados ao solo via irrigação com efluentes ainda se encontravam na camada do solo em 0 e 120cm e a penetração deste elemento até camadas mais profundas estava relacionado aos teores de argila e sesquióxidos do solo. Outra preocupação diz respeito ao nitrogênio que, ao ser aplicado em excesso, tende a ser lixiviado devido à grande

mobilidade no solo, podendo atingir os lençóis subterrâneos e inviabilizar o uso dessas águas para consumo humano, caso excedam os limites máximos de 1,0mg/L para nitrato e 10mg/l para nitrito, segundo o padrão de potabilidade brasileiro (Portaria nº 518/2004/MS) O efeito da aplicação de efluente oriundo de um reator anaeróbico sobre a qualidade da água subterrânea foi avaliado em experimento conduzido na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O delineamento experimental está descrito por Marques et al. (2003) na seção “Efeitos no solo e riscos de lixiviação de poluentes” consistiu na aplicação do efluente anaeróbico em sulcos rasos plantadas com milho com o monitoramento da água subterrânea em poços cuja instalação seguiu as normas da ABNT (1997). As concentrações do nitrato nas águas subterrâneas foram maiores naquelas parcelas que receberam adubo químico quando comparado aos resultados das parcelas que só receberam efluente do reator anaeróbico. A presença/ausência de chuvas foi um fator considerado no experimento e influenciou nas concentrações do nitrato, que foram maiores no período chuvoso, sendo facilitada pela maior precipitação pluviométrica, mas em nenhum momento as concentrações excederam o limite de 10mg/l de nitrato, estabelecido pela referida Portaria nº 518/2004.

## 4. Materiais e métodos

### 4.1. Utilização de lodo de esgoto

#### Localização

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária (CNPQ), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em Campina Grande (PB).

#### Solo

Foi proveniente de Lagoa Seca (PB) e coletado nas dependências da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária (Emepa); caracterizado quimicamente (pH, macro nutrientes primários – N, P e K e secundários – Ca e Mg; alumínio trocável) e matéria orgânica, por meio de análises de laboratório de acordo com as metodologias recomendadas por Richards (1954) e Embrapa (1979).

#### Lodo

Proveniente do Programa de Saneamento Básico (Prosab/Finep) – Campina Grande (PB).

#### 4.1.1. Análises realizadas no lodo

\* físico-químicas – sólidos totais e frações fixa e volátil, nutrientes (APHA et al., 1995) e metais pesados (realizadas no Senai de Lauro de Freitas/BA).

- \* bacteriológicas – coliformes totais e termotolerantes (APHA et al., 1998).
- \* parasitológica – ovos de helmintos (Yanko, 1987, apud Soccol et al. 2000).

#### 4.1.2. Processos de desinfecção do lodo

- \* calagem com cal virgem (óxido de cálcio - CaO) a 50% do peso seco do lodo;
- \* secagem - secagem ao ar (Experimentos I e II).

#### 4.1.3. Culturas utilizadas

\* Experimento I - foi utilizado algodão (*Gossipium hirsutum L.r. latifolium Hutch*) - cultivar BRS – verde. As sementes foram submetidas ao deslincamento químico, base úmida, com ácido sulfúrico, na proporção de 7kg de sementes para um litro de ácido concentrado (p.a.), durante 2-3 minutos seguido de lavagem de água corrente para retirada do excesso do ácido. Após a secagem natural por 12 horas foram submetidas à classificação para ser utilizadas.

\* Experimento II - foi realizado com o milho (*Zea mays L.*), híbrido para avaliar o efeito residual dos diversos tratamentos do Experimento I. As sementes utilizadas apresentaram 98% de pureza e 85% de germinação. Foram produzidas pela Agrocerees em Santa Helena de Goiás (GO).

#### 4.1.4. Unidade experimental

A unidade experimental foi representada por vasos plásticos com aproximadamente 21l, com furos na parte inferior para facilitar a drenagem e lixiviação. Na base inferior de cada vaso foi acoplada uma mangueira plástica que conduzia o líquido percolado dos vasos até uma garrafa plástica tipo PET de 2l de capacidade.

#### 4.1.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados: os Experimentos I (algodão) e II (milho), utilizaram esquema fatorial [(5x2) + 3], representados por cinco dosagens de lodo (70, 140, 210, 280 e 320kgN/ha, equivalentes a: 12,6 – 25,2 – 37,8 – 50,4 e 63,1t lodo/ha), duas consistências do lodo (seco e pastoso/calado), mais três testemunhas: absoluta (solo sem adubação), solo com adubação mineral (nitrogênio, fósforo e potássio) e solo com adubação orgânica (esterco bovino), com quatro repetições, totalizando 13 tratamentos e 52 vasos. O trabalho foi desenvolvido, utilizando-se o solo na capacidade de campo. As dosagens foram escolhidas com base no teor de nitrogênio do lodo.

#### 4.1.6. Água de irrigação

A água de irrigação utilizada foi a água de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB), mensalmente submetida à caracterização físico-química no Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, seguindo as metodologias descritas em APHA et al., (1995); Embrapa (1979); Rodier, (1975). Foram feitas irrigações diárias nos vasos de forma a repor a água consumida na evapotranspiração e o solo com umidade próxima à capacidade de campo.

#### 4.1.7. Líquido percolado

Para avaliar o possível impacto sobre a qualidade da água do lençol freático, o líquido percolado pela coluna de solo foi coletado e submetido às análises físico-químicas (Tabela 1), de acordo com os métodos analíticos descritos em Apha et al., (1995); Embrapa (1979); Rodier, (1975).

Tabela 1 – Análises físico-químicas no líquido percolado

Parâmetros	Métodos
Amônia	Nesslerização Direta
Bicarbonato	Titulométrico
Cálcio	Titulométrico
Carbonato	Titulométrico
Cloreto	Argentométrico
Condutividade elétrica	Resistência Elétrica
D.Q.O.	Refluxação do dicromato de potássio
Fósforo total	Espectrofotométrico do ácido ascórbico c/ pré-digestão pelo persulfato de amônia
Magnésio	Titulométrico
Nitrato	Salicilato de sódio
Ortofosfato solúvel	Espectrofotométrico do ácido ascórbico,
Potássio	Fotométrico
Potencial hidrogeniônico	Potenciométrico
Sódio	Fotométrico
Sulfato	Turbidimétrico
Temperatura	Filamento de mercúrio

#### 4.1.8. Variáveis estudadas

- \* algodão - as variáveis de crescimento não destrutivo e de produção.
  - crescimento: altura das plantas, diâmetro caulinar (a cada 20 dias) e fitomassa (aérea, raiz) no final do experimento;
  - produção: número e peso do capulho, rendimento (algodão em caroço), rendimento em pluma, peso de 100 sementes, percentagem de fibra e qualidade da fibra, no final do experimento;
- \* milho
  - crescimento e desenvolvimento da planta;
  - altura e diâmetro do caule (a cada 20 dias);
  - área foliar por folha e por planta - mensurada por meio 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), expressas pelas equações 1 e 2:  
$$\text{Área foliar por folha (AF/F)} = C \times L \times 0,75 \quad (\text{eq. 1})$$
$$\text{Área foliar por planta} = (\text{AF/P}) \times 9,39 \quad (\text{eq. 2})$$
  - análise foliar – para avaliar o estado nutricional das plantas, por meio dos teores relativos de macronutrientes (N, P, e K) e secundários (Ca e Mg) nas folhas das plantas de cada tratamento, de acordo com a metodologia da Embrapa (1979).
  - matéria seca – fitomassa aérea e radicular.

#### 4.1.9. Período experimental

\* **Experimento I - algodão** – de 18/5/2002 até 12/10/2002. Quarenta e oito horas antes do plantio fez-se uma irrigação uniforme para todos os vasos, objetivando deixar a umidade do solo próxima à capacidade de campo. 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 foi satisfatória em todos os vasos, tendo ocorrido sete dias após a semeadura, com o surgimento de cinco plântulas por vaso. O pré-desbaste foi realizado 20 dias após a emergência das plantas, deixando-se duas por vaso, sendo escolhidas as de tamanho uniforme e bem distribuídas no recipiente. Aos 40 dias realizou-se o desbaste ficando uma planta por vaso.

Durante o decorrer do experimento a cultura foi mantida livre de ervas daninhas, eliminando-se manualmente as que eventualmente apareciam. Para o controle de eventuais pragas empregou-se o inseticida sistêmico Agrophos Monocrotophos, na dosagem de 30-35ml para 5l de água.

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 a senescência e abscisão de folhas, diariamente eram coletados, em cada planta, as partes que caíam (folhas, flores, botões, frutos e capulhos), 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 e raiz e do algodão. As raízes foram lavadas e secas à sombra e, juntamente com a parte aérea da planta, colocadas em estufa (60 a 70°C), durante 72 horas para obtenção do peso da matéria seca.

A cada 20 dias realizava-se a avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas por meio da medição da altura, diâmetro, número de folhas e do comprimento da nervura principal.

O líquido percolado mensalmente foi submetido às análises físico-químicas.

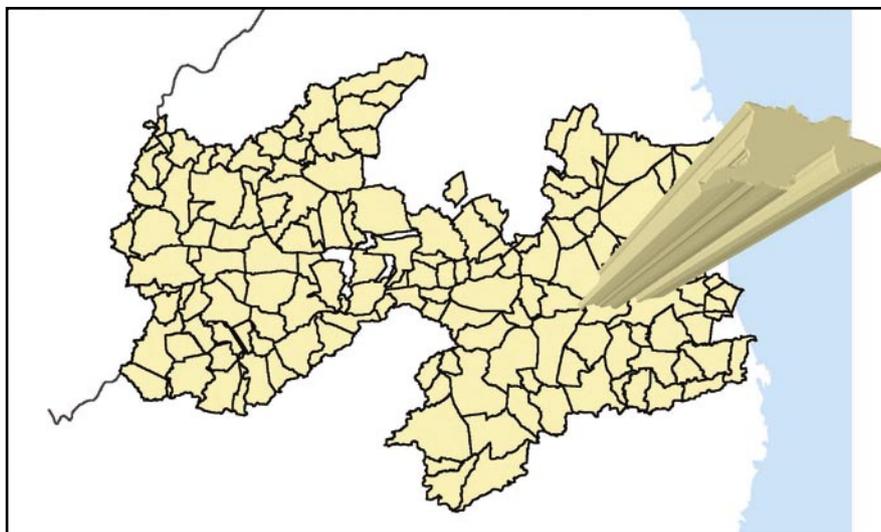
\* **Experimento II – milho** – de outubro até dezembro de 2002. A preparação dos vasos, plantio e condução foi semelhante ao Experimento I.

Aproveitando a estrutura (vasos) do Experimento I, 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 o plantio, com o surgimento de cinco plântulas por vaso. O primeiro desbaste foi realizado oito dias após a emergência, deixando-se duas plântulas por vaso, escolhendo-se as de tamanho uniforme e bem distribuída no recipiente. Aos 16 dias, realizou-se o segundo desbaste, restando apenas uma planta por vaso.

## **4.2. Utilização de águas residuárias tratadas no cultivo de algodão, capim-elefante e alface**

### **4.2.1. Localização da área de estudo**

A pesquisa foi conduzida na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Companhia de Água e Esgotos (Cagepa), da cidade de Campina Grande (7°13'11"S; 35°52'31"O; 550m acima do nível do mar), localizada no bairro da Catingueira, distante 10km do centro. O município situa-se na região do agreste paraibano, sendo uma área de transição da Zona da Mata com o Sertão, na microrregião do Planalto da Borborema (figura 2).



Fonte: LMRS (2000).

Figura 2 – Localização geográfica do município de Campina Grande (PB)

A região possui um clima úmido e semi-árido, com precipitação pluviométrica média anual muito baixa, entre 300 e 400mm, e uma estação seca que pode atingir de oito a dez meses. As médias de temperatura são sempre maiores que 24°C. A cidade tem uma população estimada de 350.000 habitantes e é abastecida pelo Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão (PB).

Em 1940, a cidade de Campina Grande já era beneficiada com rede coletora de esgotos, mas, em 1969, foi proposta a instalação de uma nova ETE para atender ao crescimento urbano e à implantação de indústrias. Localizada no bairro da Catingueira, a estação foi projetada para funcionar em duas etapas: a primeira com capacidade para depurar os efluentes da cidade, até 1980, para uma população de projeto de 260.000 habitantes; na segunda etapa haveria a duplicação da capacidade da primeira. O sistema funciona com tratamento preliminar consistindo de grade, caixa de areia e calha Parshall e tratamento biológico por lagoas em série com aeração mecânica (figura 3). Atualmente o sistema de aeração encontra-se desativado (Oliveira, 2002).

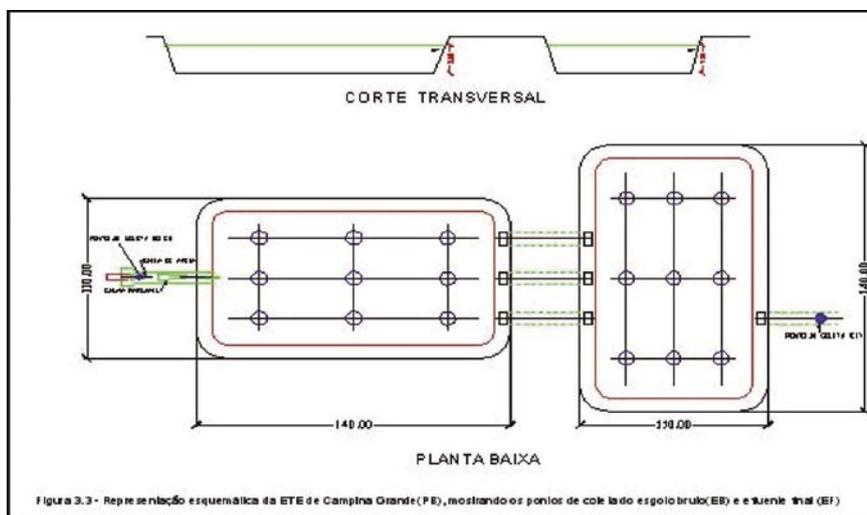


Figura 3 – Planta baixa da ETE de Campina Grande (PB)

#### 4.2.2. Áreas utilizadas

\* cultura do algodão - para instalação do experimento com a cultura do algodão foi utilizada uma área de 1.170m<sup>2</sup> que dista aproximadamente 350m do local de saída do efluente final das lagoas de estabilização. Foi subdividida em quatro blocos com área de 240m<sup>2</sup> (5x48m) com espaçamento entre blocos de 1,5m. Cada bloco tem 12 parcelas de 20m<sup>2</sup> (5x4m), cada um com quatro linhas de plantio de 5m de comprimento e espaçadas 1m entre si. A figura 4 mostra a área de cultivo com os quatro blocos, o sistema de alimentação das parcelas, bem como a distribuição da tubulação de adução da água residuária tratada oriunda do efluente final da ETE. O ponto A mostra exatamente o local onde a tubulação passa a ser comum aos dois tipos de água (abastecimento e residuária). A irrigação das parcelas foi feita com o auxílio de tubos janelados de 75mm. As parcelas receberam placas de identificação com os números das parcelas: aquelas irrigadas com abastecimento do sistema da Cagepa (Açude Epitácio Pessoa - Boqueirão) foram identificadas por placas brancas e as que receberam água residuária tratada do efluente final das lagoas de estabilização, por placas vermelhas.

\* capim-elefante - o experimento foi montado em uma área de 1.000m<sup>2</sup> adjacente às lagoas. Antes da delimitação das parcelas o solo foi arado e dragado e a área foi dividida em parcelas experimentais de 5x4m separadas por 1m entre si e numeradas de 1 a 24 (figura 5). As parcelas mais externas (B1 a B8) foram usadas como proteção visando minimizar os efeitos do vento. As parcelas de número 4, 8, 12, 16, 20 e 24 ficaram afastadas 4m das demais em virtude de um pequeno declive do terreno. O sistema de irrigação com água residuária tratada era composto de um motor bomba (1CV), localizada junto ao vertedouro do efluente final da lagoa 2 ligada a um comando elétrico responsável pelo acionamento da mesma, e uma rede de tubos de PVC de 50mm. A água de abastecimento para irrigar as parcelas de controle foi oriunda do sistema de abastecimento de água da Cagepa, era armazenada em caixas-d'água de 250l, tipo Brasilit para eliminação do cloro residual livre, e conduzida até as parcelas por gravidade através de tubos de 20mm de diâmetro. O diagrama (figura 6) mostra a numeração das parcelas experimentais (1 a 24) e de bordadura (B1 a B8), localização dos tanques de água de abastecimento e da tubulação que conduzia a água residuária a partir do bombeamento do efluente final da ETE.

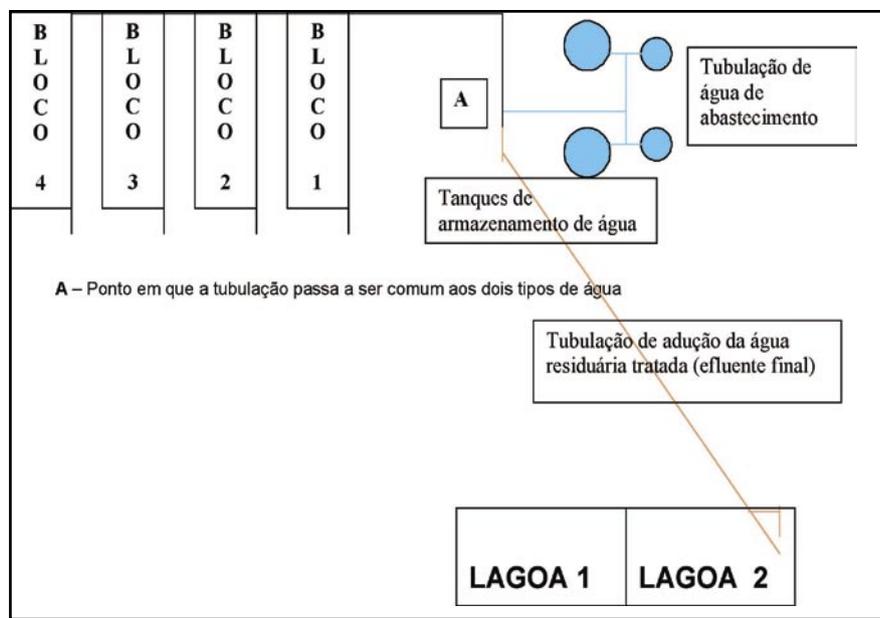


Figura 4 – Diagrama da área experimental (sem escala), mostrando a localização da área experimental, as caixas de armazenamento da água de abastecimento e tubulação de adução da água residuária tratada oriunda do efluente final da ETE de Campina Grande (PB)

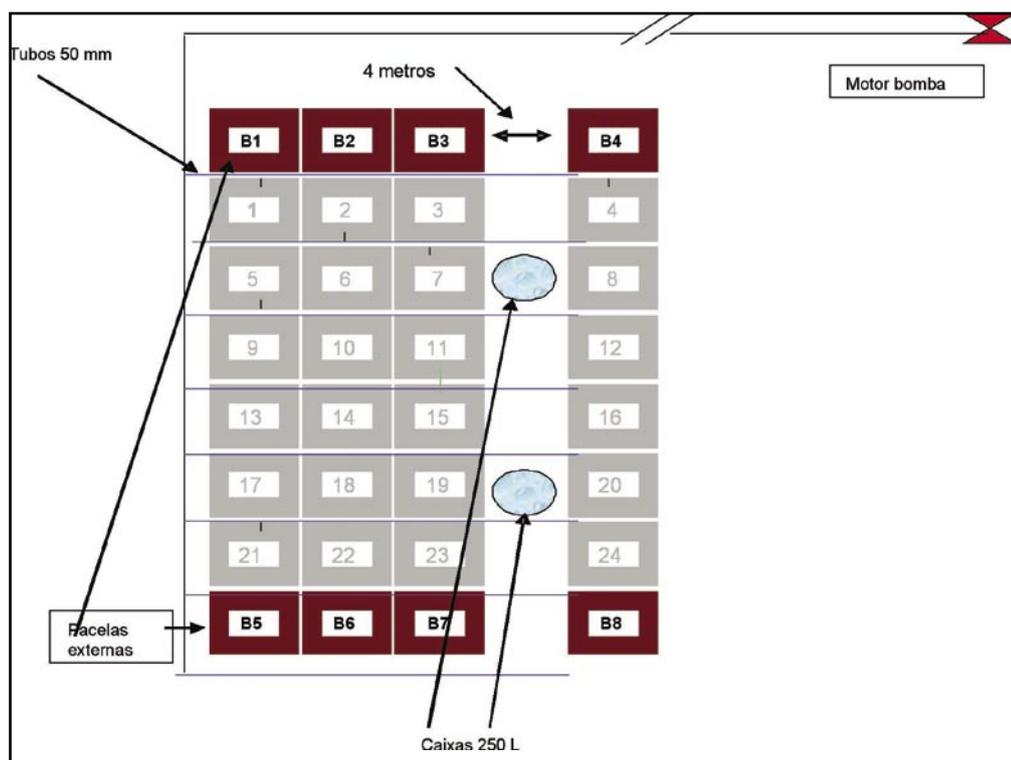


Figura 5 – Diagrama das parcelas experimentais (1 a 24) e as parcelas que atuaram como bordadura para evitar a ação dos ventos (B1 a B8), no experimento com capim-elefante, conduzidos nas dependências da ETE de Campina Grande (PB)

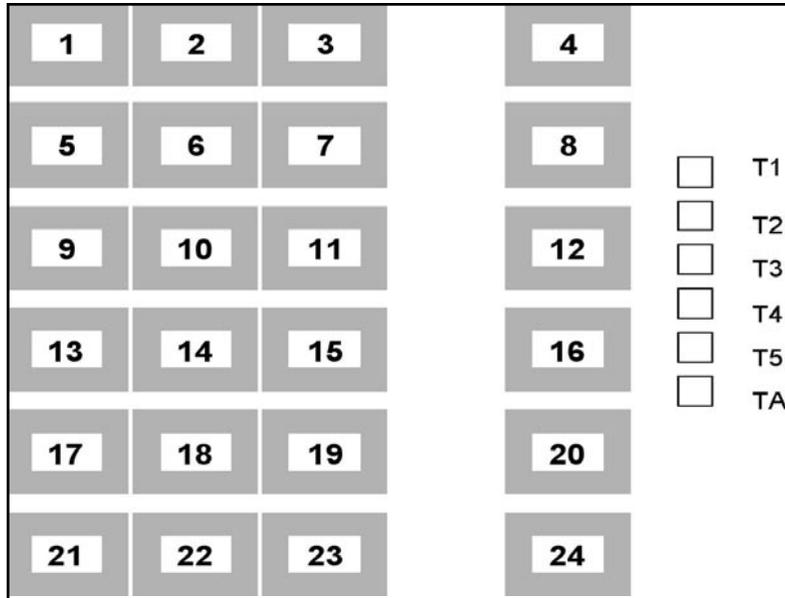
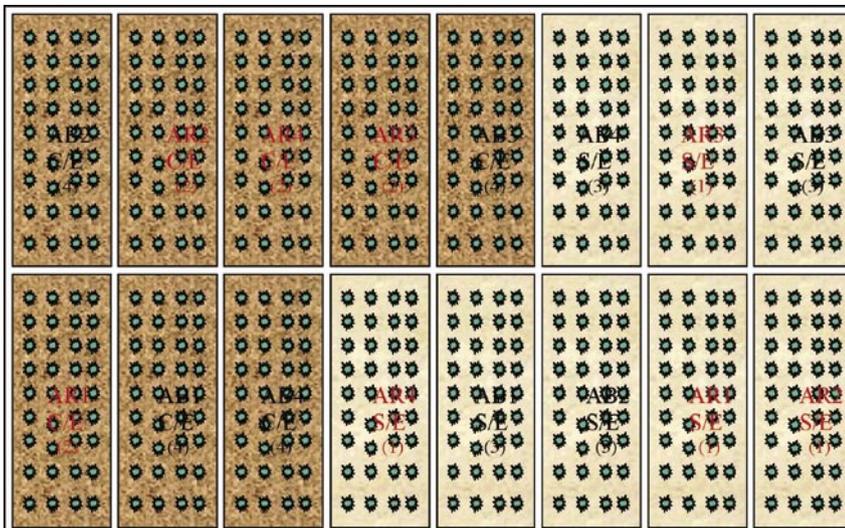


Figura 6 – Diagrama mostrando a numeração das parcelas experimentais

\* alface - a área experimental localizada ao lado das lagoas era constituída de 16 parcelas, medindo 3m de comprimento e 1,5m de largura totalizando uma área de 4,5m<sup>2</sup>, separadas por 0,5m entre si. Cada parcela era constituída por quatro linhas de plantio com nove covas por linha. O espaçamento entre as linhas e entre as covas era de 0,3m. Para efeito de bordadura foi dispensada uma cova de cada extremo das linhas de plantio, além das covas das linhas laterais das parcelas (figura 7).



AB S/E (água de abastecimento sem estrume bovino); AB C/E (água de abastecimento com estrume bovino); AR S/E (água residuária tratada da ETE sem estrume); AR C/E (água residuária tratada da ETE com estrume).

Figura 7 – Disposição das parcelas experimentais para o cultivo da alface irrigada com água de abastecimento e residuária, em experimento conduzido na ETE de Campina Grande (PB)

#### 4.2.3. Caracterização física e química do solo e parâmetros analisados

Após a coleta, o solo foi acondicionado em sacos plásticos estéreis etiquetados e encaminhado para análise no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG – Campus I - Campina Grande (PB) e no Laboratório de Química e Fertilidade de Solos do Departamento de Solos da UFPB - Campus II – Areia (PB).

\* algodão - as 48 amostras das parcelas experimentais foram coletadas nos primeiros 20cm de profundidade, com auxílio de um enxadão e com a retirada prévia de qualquer material vegetal existente sobre o solo.

\* capim-elefante: no início do experimento (antes da primeira irrigação) e após o 3º corte do capim, foram coletadas as amostras de solo das 24 parcelas experimentais nas profundidades de 0–20cm e 20–40cm, perfazendo um total de 48 amostras, devidamente acondicionadas em sacos plásticos identificados. Para os ensaios químicos e de fertilidade do solo foram preparadas 12 amostras compostas: de cada um dos seis tratamentos experimentais avaliados (cinco correspondendo a lâminas de água residuária e uma de água de abastecimento), fez-se uma amostra composta das profundidades onde se fez amostragem do solo (0-20 e 20-40cm).

\* alface: amostras foram coletadas no início de cada plantio e no término de cada ciclo nas 16 parcelas foram coletados o solo, nos primeiros 20 cm de profundidade, com o auxílio de um trado. Antes de proceder à coleta fez-se a retirada do material vegetal eventualmente existente na superfície de cada parcela.

\* parâmetros monitorados no solo – no início e término dos experimentos

- características físicas do solo: granulometria, classificação textural, densidade aparente e real, porosidade, umidade natural, capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível – Embrapa, 1979);
- características químicas do solo: fertilidade (cálcio, magnésio, sódio, potássio, soma de bases, hidrogênio, alumínio, CTC, carbonato de cálcio qualitativo, carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo assimilável, pH, C.E. – Embrapa, 1979) e salinidade (pH – extrato de saturação, C.E., cloreto, carbonato, bicarbonato, sulfato, cálcio, magnésio, potássio, sódio, percentagem de saturação, RAS, PSI, salinidade – Embrapa, 1979).

#### 4.2.4. Caracterização microbiológica do solo, das culturas e parâmetros monitorados

\* solo - para as análises microbiológicas, as amostras foram coletadas com o auxílio de um tubo de aço galvanizado estéril, de 30cm e 5cm de diâmetro. Este era introduzido no solo até uma profundidade de 20cm com auxílio de uma marreta. O conteúdo era transferido para sacos plásticos estéreis previamente etiquetados e acondicionados em isopor com gelo. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Área de

Engenharia Sanitária e Ambiental (Aesa) da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (DEC) do Campus I da UFCG – Campina Grande (PB).

\* algodão – por se tratar de uma cultura destinada ao uso industrial, as análises microbiológicas não foram feitas;

\* alface – ao término da cada ciclo de cultivo, selecionaram-se 14 alfaces da área útil de cada parcela para análises microbiológicas (coliformes fecais e termotolerantes). A coleta constitui na retirada de duas folhas de três pés de alface, escolhidos aleatoriamente dentro de cada parcela. As folhas foram cortadas por facas, esterilizadas em álcool e flambadas, acondicionadas em sacos plásticos estéreis devidamente etiquetados com data e hora da coleta, e conservados em um isopor com gelo na temperatura menor que 10°C. Todas as amostras eram transportadas para Laboratório de Saneamento da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG – Campus I – Campina Grande/PB;

\* capim – as amostras para análises microbiológicas eram oriundas da parte central de cada uma das parcelas experimentais. Com auxílio de um facão, previamente esterilizado com álcool, cortava-se aleatoriamente 1kg de material vegetal e este era acondicionado em sacos plásticos estéreis previamente identificados. No laboratório, sob condições de assepsia, fez-se uma amostra composta das quatro repetições referentes a cada tratamento experimental;

\* parâmetros monitorados - a tabela 2 mostra os parâmetros microbiológicos monitorados no solo e nas culturas.

Tabela 2 – Parâmetros microbiológicos para caracterização das águas de irrigação do solo e da cultura

Parâmetros	Método
<b>Solo</b>	
Coliformes termotolerantes (NMP/g de solo)	Tubos múltiplos
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g de solo)	Tubos múltiplos
<b>Cultura (alface e capim)</b>	
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Tubos múltiplos
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Tubos múltiplos

As análises seguiram as recomendações de APHA *et al.*, (1995).

O grupo dos coliformes fecais inclui as bactérias na forma de bastonetes Gram negativos, não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 horas a 44,5 – 45,°C. Atualmente sabe-se, entretanto, que o grupo dos coliformes fecais é apenas do trato gastrintestinal, e que inclui pelo menos três gêneros, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, dos quais dois (*Enterobacter* e *Klebsiella*) incluem cepas de origem não fecal. Por este motivo, a presença de coliformes fecais em alimentos é menos representativa, como indicação de contaminação fecal, do que a enumeração direta de *E. coli*.

#### 4.2.5. Caracterização parasitológica (ovos de helmintos) no solo e nas alfaces

\* solo – a coleta seguiu os procedimentos adotados para a análise microbiológica. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e submetidas ao método de Yanko (1987), apud Soccol et al. (2000).

\* alface – após cada ciclo de cultivo foram coletados cerca de 0,5kg de alface. Cada folha foi lavada com auxílio de uma pisseta com água de torneira com Tween 80%. A água de lavagem de cada parcela experimental foi armazenada em baldes plásticos, e após a adição de 10 ml de formaldeído foi deixada em repouso por 24 horas (Konig et al., 2001), para sedimentar todo material que porventura estivesse depositado na superfície das folhas. Após o período, o sobrenadante era sifonado cuidadosamente e submetido ao método de Bailer modifico (WHO, 1989). Foram contados todos os ovos de helmintos existentes no espaço quadriculado da câmara de McMaster. O valor médio encontrado para cada parcela era resultante de três leituras (repetições).

#### 4.2.6. Águas de irrigação utilizadas nos experimentos

\*abastecimento - todos os reservatórios destinados a armazenar a água de abastecimento eram cheios no dia anterior à irrigação para facilitar a eliminação do cloro residual contido na água.

- algodão - a água de abastecimento foi retirada do sistema de abastecimento da CAGEPA e armazenada em quatro tanques de fibra de vidro (figura 4), dois deles com capacidade de 5m<sup>3</sup> e os outros dois de 3m<sup>3</sup>. Um conjunto motor-bomba foi utilizado para adução da água de abastecimento (marca STHIL, modelo P835) movido a gasolina, instalado próximo aos tanques.
- capim-elefante - a água de abastecimento (TA), era armazenada, em duas caixas d'água de cimento amianto marca Brasilit com capacidade de 250L (figura 5). A alimentação dos tanques era feita por meio da pressão da rede de abastecimento.
- alface - a água de abastecimento para irrigação era armazenada em caixas de amianto da marca Brasilit com capacidade de 250 litros. A alimentação dos tanques era feita por meio da pressão da rede de abastecimento.

\* residuária - água residuária era proveniente da estação de tratamento de esgotos (ETE) da cidade de Campina Grande. O sistema funciona com tratamento preliminar consistindo de grade, caixa de areia e calha Parshall e tratamento biológico por lagoas em série com aeração mecânica (figura 3) com profundidades de 3,5 e 4,5m. Apesar de terem sido projetadas para funcionar como lagoas aeradas mecanicamente, estes estão desativados devido a problemas mecânicos (Oliveira, 2002). Como não houve investimentos na ampliação do sistema, este não tem como atender à atual demanda por exceder a população do projeto (Cagepa, 2003,comunicação pessoal).

- algodão, capim elefante e alface: para adução da água residuária da ETE foi utilizada uma tubulação de PVC de 75mm de diâmetro e uma bomba centrífuga de 2CV (modelo BC-92SJA de 60Hz, 220/380V) movida a energia elétrica, instalada

próximo ao vertedor de saída da segunda lagoa. Na tubulação foi instalado um sistema de registros que permitia o bombeamento da água residuária ou para o local do experimento com o algodão (figura 4) ou para o local do experimento com o capim-elefante (irrigação diretamente nas parcelas experimentais) ou da alface, onde, nas proximidades das parcelas existiam caixas de cimento amianto destinadas ao armazenamento da água residuária tratada. Estas eram cheias momentos antes de iniciar a irrigação para evitar o acúmulo de lodo no fundo do reservatório e também para evitar que este tipo de água entrasse em decomposição e se tornasse séptico.

#### 4.2.7. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos (abastecimento e residuária - efluente final da ETE) e parasitológicos (residuária - efluente final da ETE) monitorados na caracterização da qualidade das águas de irrigação

\* águas de abastecimento e residuária – para monitorar a qualidade das águas de irrigação utilizadas nos cultivos do algodão, capim-elefante e alface, amostras eram coletadas mensalmente, com intervalos de uma hora, entre 14 e 15 horas, período este que correspondia ao tempo gasto na irrigação das culturas e às 17 horas (última irrigação diária da alface). As coletas das águas de abastecimento e residuária (efluente final da ETE) foram feitas ou junto dos tubos janelados (algodão) ou na tubulação de alimentação dos reservatórios (caixas Brasilit para a cultura do capim-elefante e alface). Somente para a água de abastecimento, fazia-se uma esterilização da tubulação antes de proceder à coleta. As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas de 2l tipo PET, para análises físico-químicas e de vidro âmbar estéril para análises microbiológicas. Ambos os frascos eram armazenados em caixas de isopor com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (Aesa) da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG – Campina Grande (PB). Para a análise parasitológica (água residuária utilizada na irrigação da alface), coletava-se um volume de 10 litros de água residuária e após a adição de 10ml de formaldeído, o líquido homogeneizado era deixado em repouso por 24 horas para a decantação do material sólido nele contido. Este procedimento era feito nas dependências da ETE. O líquido sobrenadante era sifonado cuidadosamente e o material depositado no fundo no balde era encaminhado para o Laboratório de Saneamento da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG – Campus I - Campina Grande (PB), para dar prosseguimento à análise.

Os parâmetros físicos-químicos e as respectivas metodologias empregadas nas análises das águas de irrigação (água de abastecimento e residuária) estão na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos, microbiológicos e parasitológicos para caracterização das águas de irrigação

Parâmetros	Método
Temperatura (°C)	Termômetro de filamento de mercúrio
pH	Potenciométrico
C. elétrica (µmho/cm)	Resistência elétrica
OD (mg/L)	Titulométrico de Winkler com modificação azida
DBO (mg/L)	Diluição em frascos padrões
DQO (mg/L)	Refluxação fechada do dicromato de potássio
Amônia (mgN-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> /L)	Nesslerização direta e leitura espectrofotométrica
Fósforo total (mgP/L)	Espectrofotométrico do ácido ascórbico e digestão com persulfato de amônia
Ortofosfato Solúvel (mgP/L)	Espectrofotométrico do ácido ascórbico
Cálcio (mgCa <sup>2+</sup> /L)	Titulométrico do EDTA
Magnésio (mgMg <sup>2+</sup> /L)	Titulométrico do EDTA
Sódio (mgNa <sup>+</sup> /L)	Fotometria de chama
Potássio (mgK <sup>+</sup> /L)	Fotometria de chama
Cloretos (mgCl <sup>-</sup> /L)	Titulométrico do nitrato de prata
Carbonatos (mg/L)	Titulométrico
Bicarbonatos (mg/L)	Titulométrico
Clorofila "a" (µg/L)	Espectrofotométrico; extração a quente com metanol 100%
Coliformes termotolerantes (UFC/100mL)	Membrana filtrante
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Tubos múltiplos
Helmintos (nº ovos/L)	Sedimentação

Todas as análises seguiram as recomendações de APHA et al.(1995), exceto clorofila "a" (Jones, 1979) e ovos de helmintos (WHO, 1989, com 24 horas de sedimentação, König et al., 2001).

#### 4.2.8. Delineamento experimental

\* algodão

- delineamento experimental - a pesquisa de campo consistiu no plantio de sementes de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum L.r. latifolium Hutch.*), cultivar BRS 187 8H, proveniente do campo experimental de Patos (PB). O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 12 tratamentos e quatro repetições com esquema fatorial misto (2 x 5)+2 onde os fatores são dois tipos de água de irrigação (residuária e de abastecimento sem cloro), cinco dosagens de nitrogênio (0, 60, 90, 120 e 180kgN/ha) e duas testemunhas absolutas (água residuária e de abastecimento);

- tratamentos aplicados

T01 - Irrigação com água de abastecimento sem adubação de fundação e nitrogenada (Testemunha);

T02 - Irrigação com água residuária sem adubação de fundação e nitrogenada (Testemunha);

T03 - Irrigação com água de abastecimento sem adubação nitrogenada, mas com adubação de fundação;

T04 - Irrigação com água residuária sem adubação nitrogenada, mas com adubação de fundação;

T05 - Irrigação com água de abastecimento e adubação de 60kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T06 - Irrigação com água residuária e adubação de 60kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T07 - Irrigação com água de abastecimento e adubação de 90kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T08 - Irrigação com água residuária e adubação de 90kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T09 - Irrigação com água de abastecimento e adubação de 120kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T10 - Irrigação com água residuária e adubação de 120kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T11 - Irrigação com água de abastecimento e adubação de 180kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

T12 - Irrigação com água residuária e adubação de 180kgN/ha de nitrogênio e adubação de fundação;

As parcelas foram adubadas em fundação com fósforo (P) e potássio (K). As fontes de adubação foram o cloreto de potássio (KCl), o superfosfato simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A fonte de adubação de cobertura foi o sulfato de amônia (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O cloreto de potássio apresenta 60% de potássio, o superfosfato simples apresenta 20% de fósforo e o sulfato de amônia apresenta 20% de nitrogênio. Portanto, as parcelas que foram adubadas com potássio receberam 200g de KCl, as parcelas que foram adubadas com fósforo receberam 900g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no dia do plantio, e as que foram adubadas com nitrogênio receberam 0,80kg; 1,6kg; 2,4kg e 3,2kg, de acordo com os tratamentos, fracionadas em três vezes: 1/3 no plantio, 1/3 aos 35 dias após o plantio e 1/3 na floração.

- plantio e tratos culturais – o experimento foi iniciado em julho 2002. Para sua instalação procedeu-se à limpeza da área para retirada dos restos vegetais, aração, com preparação dos sulcos em curva de nível e capina da área ao redor do experimento. Nos dois dias que antecederam o plantio do algodão procedeu-se à irrigação com água de abastecimento sem cloro para umedecer o solo. Em 2/10/2002 foi feito o plantio manual em covas de 2cm de profundidade, nas faces laterais dos sulcos, próximo à zona de molhamento e espaçadas entre si de 20cm com a disposição de cinco sementes por cova. No quinto dia após o plantio (7/10/02) ocorreu a germinação, havendo a necessidade de replantio em algumas covas devido à ausência de germinação do primeiro plantio. No 15º dia após a germinação procedeu-se ao desbaste, deixando-se apenas duas plantas por cova. Este procedimento resultou numa população de 100.000 plantas por hectare.
- controle de pragas – para o controle de ervas daninhas e ataque de pragas foram realizadas capinas manuais periódicas na área de plantio e a observação semanal da cultura. Por meio do controle visual foi detectada a presença das formigas cortadeiras, do pulgão (*Aphis gossypii* Glover), curuquere do algodoeiro (Alabama argillacea), e do bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman), todas combatidas com a aplicação de defensivos específicos nas dosagens e cuidados recomendadas pelo fabricante.

\* capim-elefante - o experimento consistiu na aplicação de cinco lâminas de irrigação (T1 a T5) com água residuária tratada com quatro repetições totalizando 20 parcelas, mais quatro parcelas (TA) irrigadas com água de abastecimento sem cloro, como testemunha no cultivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*). A figura 6 mostra diagrama da distribuição das parcelas T1 a T5 e TA, após a distribuição aleatória das parcelas e dos tratamentos experimentais.

O capim utilizado foi adquirido de agricultores da circunvizinhança. O material foi preparado para o plantio retirando-se as folhas dos colmos pré-selecionados e cortando-os em estacas 10cm de maneira que tivessem quatro gemas cada uma. Em cada parcela foram feitas 16 covas com 60cm de diâmetro e distribuídas em 4 linhas distanciadas 80cm entre si. As estacas foram plantadas de forma manual, enterrando-as a 10cm de profundidade. Durante todo o experimento, a área foi devidamente monitorada visando ao controle de ervas daninhas, fungos e insetos.

- tratamentos aplicados
- T1 – lâmina diária de água residuária de 7,33mm;
- T2 – lâmina diária de água residuária de 6,1mm;
- T3 – lâmina diária de água residuária de 5,1mm;
- T4 – lâmina diária de água residuária de 8,8mm;
- T5 – lâmina diária de água residuária de 9,89mm;
- TA– lâmina diária de água de abastecimento de 7,33mm (testemunha).

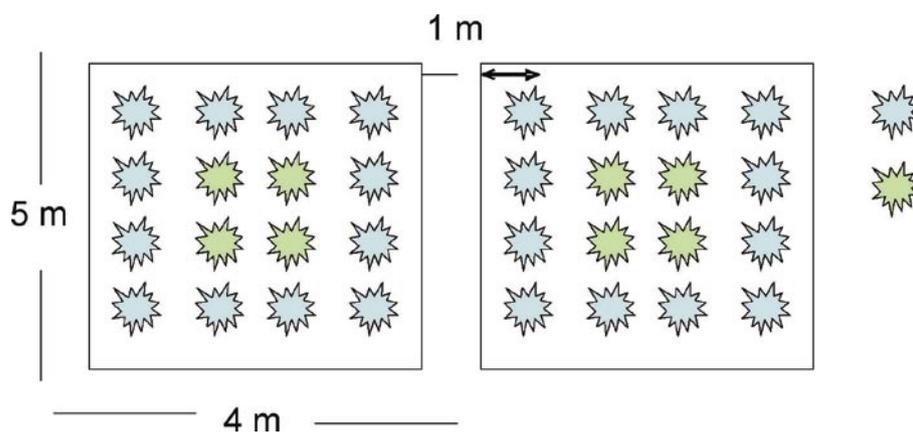


Figura 8 – Disposição das parcelas experimentais do capim-elefante, mostrando suas dimensões e a distribuição das linhas de plantio e a delimitação da área útil, em experimento conduzido na ETE de Campina Grande (PB)

\* alface - o trabalho de campo constitui-se na irrigação da alface (*Lactuca sativa L.*), com água residuária tratada por lagoas de estabilização. O experimento consistiu em quatro tratamentos, utilizando-se delineamento experimental inteiramente ao acaso com quatro repetições para cada tratamento. As mudas de alface com quatro semanas de idade foram provenientes de uma horta situada no município de Lagoa Seca (PB) (7°10'15"S; 35°51'3"O), distante 10km de Campina Grande (PB). Foram retiradas manualmente, sempre pela manhã e plantadas imediatamente na área experimental. Em cada parcela com 36 covas foram plantadas as mudas, uma a cada cova, distanciadas de 30cm entre si. Após o transplântio as parcelas eram irrigadas com água de abastecimento sem cloro, para garantir a umidade do solo e evitar a murcha das mudas. O ciclo de desenvolvimento da alface após o transplântio das mudas era de aproximadamente 30 a 35 dias.

- tratamentos aplicados foram:
- T1 - parcelas sem estrume e irrigadas com água de abastecimento sem cloro (AB S/E);
- T2 - parcelas com estrume e irrigadas com água de abastecimento sem cloro (AB C/E);

T3 - parcelas sem estrume e irrigadas com água residuária do efluente final da Estação de Tratamento de Esgoto de Campina Grande (PB) (AR S/E);

T4 - parcelas com estrume e irrigadas com água residuária do efluente final da Estação de Tratamento de Esgoto de Campina Grande (PB) (AR C/E).

#### 4.2.9. Métodos de irrigação

\* algodão: o sistema utilizado foi de sulcos fechados em ambas as extremidades, que eram alimentados por tubos janelados de 75mm conectados a dois conjuntos de motor-bomba;

\* capim elefante: o experimento consistiu na aplicação de cinco lâminas de irrigação com água residuária e uma de água de abastecimento;

\* alface: a irrigação era feita manualmente com o auxílio de regadores. Com esse procedimento procurou-se reproduzir o método de irrigação, por aspersão, das hortas comerciais. Cada tipo de água tinha seu regador próprio para evitar a contaminação entre as águas.

#### 4.2.10. Determinação da quantidade de água para irrigação

\* algodão – a quantidade de água fornecida às plantas na pré-germinação e durante o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro foi determinada em função da quantidade hídrica da cultura, natureza do solo, clima da região e o método de irrigação utilizado seguindo as metodologias descritas por Amorim Neto & Beltrão (1992) e Bezerra et al. (1999). A lâmina de água aplicada durante o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro foi determinada de acordo com que o algodoeiro deveria receber, segundo os estádios fenológicos, lâminas variando de 2,5 a 7,5mm, o que corresponderia a 53 e 150l/dia, volumes estes requeridos na fase inicial de plântula e na fase de floração. No ciclo todo, os tratamentos receberam em média um total de 670mm.

\* capim-elefante – o método de irrigação utilizado foi o de inundação. O cálculo do volume de água residuária tratada para cada lâmina de água feito tomando por base a necessidade hídrica da cultura, o tipo de clima da região e a característica do solo da área de plantio.

- a cultura – a cultura utilizada foi o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e para o cálculo dos valores das lâminas considerou-se o milho como cultura equivalente (Gheyi, 2003, comunicação pessoal);
- o solo – o solo da área apresentou uma textura média, sendo classificado como franco-arenoso. Para o cálculo do volume de água a ser aplicado foram considerados os seguintes parâmetros:
  - capacidade de campo – é a porcentagem de água retida no solo após uma chuva ou irrigação. É medida pela quantidade de água dividida pelo volume

ocupado pelo solo. A capacidade de campo é expressa em percentagem e o intervalo para o solo franco-arenoso, segundo a literatura é entre 10 e 18. Neste estudo foi utilizado o valor de 14;

- ponto de murcha – é a percentagem de água ainda existente no solo quando a água em torno das partículas de terra se iguala à força osmótica da planta, responsável pela sua absorção. A unidade do ponto de murcha é percentual e o intervalo entre 4 e 8 como adequado para o solo franco-arenoso. Neste experimento foi utilizado o valor 7;
- água disponível – é a diferença entre a água existente no solo quando este atinge a capacidade de campo e a água remanescente no solo no ponto de murcha;
- densidade aparente do solo – para solos franco-arenosos a densidade aparente situa-se no intervalo entre 1,40 – 1,60 e o valor utilizado neste experimento foi de 1,42;
- cálculo do volume de água para as lâminas de irrigação – para saber o percentual do volume de água disponível basta subtrair o valor do ponto de murcha do valor da capacidade de campo; esse valor vai indicar o percentual de água retido pelo solo e que está disponível para o uso da planta. Varia de acordo com a textura do solo. O limite para iniciar a irrigação é de 50% da água disponível, já que abaixo disso vai comprometer o crescimento da planta (Sousa, 2002). Para calcular o volume de água disponível podemos utilizar a seguinte equação (eq. 3):

$$L = (CC - PM) \times P \times ds/100 \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

V = volume de água disponível (m<sup>3</sup>/ha);

Cc = 11,38 - capacidade de campo (%);

Pm = 4,39 - ponto de murcha (%);

d = 1,40 - densidade aparente do solo (g/cm<sup>3</sup>);

p = 0,75 - profundidade do sistema radicular da cultura (m).

Aplicando-se a equação 3, tem-se a lâmina de referência (equação 4):

$$V = (Cc - Pm) \times 100 \times d \times p = 7,33 \text{ mm} \quad (\text{eq.4})$$

A irrigação foi aplicada quando o volume de água disponível decrescer até 50%.

- o consumo de água durante o ciclo total para o milho, dependendo do clima, está entre 400 e 700mm. As demais lâminas foram estimadas acrescentando ou decrescendo valores da lâmina de referência (tabela 4);
- O turno de rega, em dias, foi calculado pela equação 5:

$$TR = L \times f / E_{tp} \quad (\text{eq. 5})$$

onde:

L = lâmina d'água disponível (mm);

f = fator de disponibilidade de água no solo;

E<sub>tp</sub> = evapotranspiração potencial (mm/dia).

- o fator de disponibilidade de água no solo (f) varia de 0,2 até 0,8 e valores menores são usados para culturas mais sensíveis à falta de água, e os maiores para aquelas mais resistentes.

Tabela 4 – Valor das lâminas de água residuária tratada utilizadas nos cinco tratamentos experimentais na cultura do capim-elefante

Tratamentos	Água residuária tratada					Água de abastecimento sem cloro
	T1	T2	T3	T4	T5	TA
Lâminas de água (mm)	7,33	6,1	5,1	8,8	9,89	7,33
Acréscimo/decréscimo (%) com relação a T1	-	-18	-30	20	35	-

- O valor de E<sub>tp</sub> pode ser calculado a partir da equação 6:

$$E_{tp} = k_p \cdot E \quad (\text{eq. 6})$$

onde:

K<sub>p</sub> = coeficiente de correlação do tanque utilizado;

E = evaporação lida no tanque classe A

- O cálculo da evapotranspiração máxima (E<sub>m</sub>) é feito pela equação 7:

$$E_{tm} = k_c \cdot E_{tp} \quad (\text{eq. 7})$$

onde:

$K_c$  = coeficiente de cultivo.

- os dados da evaporação (E) foram oriundos de medidas em tanque classe A, fornecidos pela Embrapa – CNPA – Campina Grande (PB) e são referentes ao período de plantio (5/2 a 10/12/2003). As lâminas de irrigação eram aplicadas nos horários entre 7:30 e 10:30h.

\* alface - irrigação das parcelas era realizada diariamente no período da manhã (7h) e à tarde (17h), com a aplicação aproximadamente de 25 litros de água de abastecimento e residuária para cada parcela.

#### 4.2.11. Períodos experimentais

\* algodão – início em outubro de 2002 e término em fevereiro de 2003.

\* capim-elefante – a tabela 5 mostra o período experimental e as datas dos três cortes realizados.

Tabela 5 – Datas dos cortes e período de crescimento do capim-elefante

Plantio	Corte	Dias
5/2/2003	13/5/2003	98
14/5/2003	5/8/2003	110
6/8/2003	10/11/2003	95

\* alface - os trabalhos de campo compreenderam a realização de quatro ciclos de cultivo cujas datas de início e término estão na tabela 6.

Tabela 6 – Períodos experimentais e períodos de duração nos experimentos com a alface

Experimento	Período
1º ciclo	Abril – Maio/2003
2º ciclo	Julho – Agosto/2003
3º ciclo	Setembro – Outubro/2003
4º ciclo	Janeiro – Fevereiro/2004

#### 4.2.12. Avaliação do crescimento das culturas

\* algodão

- componentes não destrutivos - durante o ciclo da cultura, a cada 20 dias foram feitas medidas de diâmetro caulinar, altura da planta e área foliar, segundo metodologia proposta por Beltrão et al. (2001), baseado em análise não destrutiva (medições periódicas). Esse parâmetro foi determinado pela medida do comprimento de todas as folhas nas duas medições iniciais. Posteriormente foi feito em seis folhas (duas do terço superior, duas do terço médio e duas do terço inferior), de cinco plantas da área útil de cada parcela, escolhidas aleatoriamente e identificadas. As medições foram feitas utilizando-se paquímetro de plástico, réguas de plástico de 30,0 cm, transparentes e trenas de madeira dobráveis. A área foliar da planta pelo método não destrutivo foi determinada pela equação (8) de Wendt (1967).

$$AF = \sum y \quad (\text{eq. 8})$$

onde:

AF = área foliar da planta;

Y = comprimento da folha (cm);

$$\text{Log } y = 0,006 + 1,863 \log x \quad (\text{eq. 9})$$

onde:

x = área da folha (cm<sup>2</sup>).

- componentes de produção do algodoeiro – peso médio de um capulho, peso médio de 100 sementes, percentagem de fibra;
- produtividade – feita em kg/ha de algodão em caroço ou em pluma;
- característica tecnológica da fibra – comprimento, alongamento, finura e fiabilidade.

\* capim-elefante – antes do corte do capim, foram realizadas medidas da altura (utilizando uma trena) e de diâmetro do colmo (utilizando um paquímetro) em plantas da área útil escolhidas ao acaso. Os dados eram anotados em tabelas apropriadas. Para a pesagem do capim cortado (bordadura e área útil) foi destinada uma área adjacente à área do plantio que foi nivelada e coberta com uma lona plástica de 20m<sup>2</sup>. A pesagem foi feita com auxílio de uma balança marca Fillizola com capacidade de 30kg. O corte foi feito manualmente a 10cm do solo com a utilização de facões. O procedimento consistiu no corte do capim das bordaduras que, depois de pesadas, foram descartadas. Os valores das pesagens do material da bordadura e da parte central de cada parcela experimental foram anotados em planilhas apropriadas. O material oriundo da parte central, depois de pesado, foi homogeneizado e uma amostra de aproximadamente 1kg foi colocado em papel

perfurado para os ensaios químicos e bromatológicos. Essas foram novamente pesadas em balanças de precisão e submetidas ao procedimento de secagem a 65°C<sup>o</sup> por 24 horas em uma estufa de recirculação interna. Após o processo de secagem e esfriamento das amostras, elas foram novamente pesadas e encaminhadas para os ensaios bromatológicos e de macronutrientes;

\* alface

- produtividade - a produtividade é um parâmetro utilizado na agricultura para determinar a produção por área útil por tempo. A pesagem da biomassa verde foi realizada com uma balança Fillizola e expressa em kg;
- matéria seca e material orgânico – no final de cada ciclo era coletado cerca de 1kg de alface, separando-se as raízes da parte aérea, para determinar a matéria seca das folhas. O material era pesado e colocado em sacos de papel previamente perfurados e pré-pesados, e colocados por 24 horas numa estufa (marca Blue M Electric Company) de ventilação forçada de ar a 60°C. Após o período de secagem, a estufa foi desligada para que o material esfriasse para só então proceder-se à segunda pesagem. A diferença entre a primeira e segunda pesagem fornecia o valor da matéria seca. Para a quantificação do material orgânico, o material seco foi submetido a moagem e encaminhadas para o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solo da UFPB – Campus II - Areia (PB).

## 5. Resultados

### 5.1. Utilização de lodos de esgoto no cultivo de algodão e milho em casa de vegetação

#### 5.1.1. Solo

O solo utilizado nos experimentos é típico da região de Campina Grande (PB) e foi classificado como Neossolo franco-arenoso (76,65% de areia; 8,68% de silte e 14,67% de argila), com 5,26% de capacidade de campo, ponto de murcha permanente de 2,44% o que resultou em 2,82% de água retida. Esta representa a água disponível para as plantas e foi calculada pela diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. O solo utilizado tinha uma porosidade de 56,52%, importante característica do solo, pois influencia na produtividade dos solos, na retenção de água, aeração e enraizamento das plantas (Silva, 1999), baixo teor de matéria orgânica (5g/dm<sup>3</sup>), pH de 5,68, considerado adequado para o algodoeiro, teores baixos de sódio (0,9mmolc/dm<sup>3</sup>), potássio (0,49mmolc/dm<sup>3</sup>) e alumínio trocável (2,0mmolc/dm<sup>3</sup>) e altos para magnésio (11,4mmolc/dm<sup>3</sup>) e cálcio (11,1mmolc/dm<sup>3</sup>).

A caracterização bacteriológica realizada no início e término do experimento mostrou contaminação elevada com aumentos de 220% dos coliformes totais (5,0E+05

– 1,6E+06NMP/100g de solo) e 423% para os coliformes fecais (3,0E+05 - 1,6E+06NMP/100g de solo), com ausência no final dos experimentos de *E. coli* e *Streptococcus* fecais. O aumento de CF pode estar relacionado com sua capacidade de reprodução fora do trato intestinal de animais homeotérmicos favorecidos pela presença de condições favoráveis como umidade, pH, matéria orgânica e competição mínima com outros organismos.

Para caracterização química do solo no final do experimento, a análise de variância mostrou resposta significativa dos fatores isolados e da interação “consistência x dose de lodo” para as variáveis: fósforo, matéria orgânica e nitrogênio. Para os demais parâmetros, não houve resposta significativa para o magnésio; para o cálcio houve resposta significativa somente para fator isolado dose e para interação dose x consistência; e para o sódio e para o alumínio ocorreu efeito significativo somente para o fator consistência de lodo. Os maiores teores de sódio e potássio no solo foram observados quando se incorporam lodo seco (superando o lodo calado somente na dose de 70kgN/ha) e calado (nas doses de 70, 210 e 280kgN/ha). Os resultados obtidos evidenciaram a necessidade de suplementação mineral de potássio quando da utilização de lodos como fertilizantes. O maior teor de alumínio do solo foi observado quando se incorporou ao solo o lodo seco, diferindo estatisticamente daquele que recebeu lodo calado apenas na dose de 140kgN/ha. A incorporação de lodo seco ao solo resultou num aumento de nitrogênio no solo a partir da dose de 140kgN/ha. Melo et al. (2002) afirmam que o biossólido é um resíduo rico em nitrogênio, porém grande parte deste elemento se encontra em forma orgânica, necessitando, portanto da presença de organismos nitrificantes no solo para transformá-lo na forma absorvível pelas plantas.

Com relação ao teor de matéria orgânica, a interação “dose x consistência de lodo” mostrou que o lodo seco, quando incorporado ao solo, aumentou o teor de matéria orgânica quando comparado com o lodo calado, particularmente a partir da dose de 140kgN/ha. Os maiores valores de pH foram obtidos no solo proveniente dos tratamentos que receberam lodo calado, devido ao aumento do pH durante o processo de desinfecção pela adição de cal. A incorporação ao solo de resíduos orgânicos submetidos ao tratamento pela cal promoveu um aumento do pH imediatamente após a aplicação e de forma mais intensa do que quando se aplicaram resíduos orgânicos sem alcalinização.

A caracterização química do solo no final do experimento mostrou que a incorporação do lodo calado (pastoso) ao solo elevou os valores de pH e potássio; enquanto a incorporação de lodo seco disponibilizou um maior teor de nitrogênio, sódio, alumínio, fósforo e matéria orgânica. A consistência do lodo não exerceu influência na quantidade de cálcio disponibilizada para o solo. Em termos agrônômicos, o lodo seco foi melhor que o lodo calado, atuando como fonte de nutrientes para as plantas, proporcionando maior benefício ao solo nos aspectos do aumento da matéria orgânica e contribuindo para a melhoria das suas características químicas e biológicas.

### 5.1.2. Lodo

Na caracterização bacteriológica do lodo constatou-se que o processo de calagem eliminou todos os indicadores fecais (CT e CTermotolerantes), mostrando a eficácia do método. Entretanto a secagem do lodo não foi tão eficiente e as reduções foram de

99,7% (CT), 98,9% (CTermotolerantes), 82,4% (*E. coli*) e 92,55% (EF). De acordo com as recomendações da USEPA (1992), para um lodo ser classificado como classe B, este deve conter <106CTerm./g de Sólidos Totais. Para o lodo seco aqui utilizado, apesar da redução de 99,7%, o lodo não se enquadrava na classe B, pois ainda continha 9,0E+06UFC/100g., havendo necessidade de um tempo maior de secagem do que os 20 dias a que foi submetido nesta pesquisa.

Na caracterização parasitológica, a concentração dos ovos de helmintos no lodo digerido foi de 264ovos/g de S.T., dos quais 55% (146 ovos/g S.T.) eram viáveis e 45% (118ovos/g S.T.) inviáveis. A calagem foi menos eficiente que a secagem para tornar inviáveis os ovos de helmintos, reduzindo-os em 37,5% (16<sup>o</sup>ovos/g S.T.). A secagem foi mais eficiente (60% – de 10 para 4ovos/g S.T.), em função do curto período de secagem (20 dias), sob temperatura que variou de 26°C a 38°C, porém proporcionou um elevado estado de mineralização do lodo com teores de S.T.V. superiores a 413% (354g/kg). As presenças de EF e CTerm. no lodo indicaram risco potencial da presença de microorganismos patogênicos visto que os E.F. são mais resistentes aos fatores ambientais e que as bactérias patogênicas de origem intestinal (CTerm.). No entanto a Sanepar (1999), adotou como indicadores da sanidade dos lodos a concentração de CTerm. e a contagem e viabilidade de ovos de helmintos sob alegação de que, uma vez reduzidas as contagens desses dois microorganismos aos níveis previstos na legislação, os demais estariam também eliminados em níveis admissíveis. Neste fato reside a maior resistência dos ovos de helmintos às condições ambientais adversas, o que garantiria a segurança para a utilização irrestrita do biossólido no solo.

O lodo digerido continha 54,05% de matéria orgânica, 3,7% de nitrogênio, 2,38% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,42% de K<sub>2</sub>O. A calagem aumentou o pH (7,5 – 12,1) e dos teores de K<sub>2</sub>O (16,7%), óxidos de cálcio (960%), magnésio (143%), sólidos totais 67% e diminuição de nitrogênio em 3,78%. Essa ocorreu devido a volatilização da amônia pela elevação do pH e é mais acentuada em lodos digeridos anaerobicamente que contêm elevada concentração de amônia gerada durante o tratamento. Como houve variação nos valores de pH há necessidade do monitoramento deste parâmetro durante o processo de calagem.

### 5.1.3. Esterco

A caracterização química do esterco indicou a presença de matéria orgânica (21,3%), nitrogênio (0,73%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,32%), K<sub>2</sub>O (0,32%). No tratamento que recebeu esterco bovino houve um aumento de 3.100% dos C.T. e 433% dos C.F., o que era esperado considerando as características bacteriológicas do material. Feachem et al., (1983), reportam que homens e animais de diversas partes do mundo excretam diferentes quantidades de C.F. e E.F. e que estes de origem animal apresentam pequena sobrevivência e morrem antes dos C.F. ao contrário dos E.F. de origem humana. Comparando-se os nutrientes contidos no esterco com os do lodo seco, verificou-se que o lodo seco tem um poder fertilizante maior que o esterco principalmente nos teores de nitrogênio (80,2%) e matéria orgânica (60,6%).

#### 5.1.4. Água de irrigação

A água utilizada nos experimentos foi classificada como C2, de média salinidade, de acordo com os limites sugeridos por Richards (1954), que pode ser usada sempre e desde que haja uma lixiviação moderada dos sais se adequando ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade. Neste contexto, o algodoeiro é um cultura tolerante aos sais do solo (Doorenbos e Kassam, 1994).

#### 5.1.5. Caracterização bacteriológica e parasitológica dos tratamentos que receberam lodo

No início do experimento, a variação de *E. coli* em todos os tratamentos foi elevada na ordem de  $10^3 - 10^7$  NMP/100g. Naqueles que receberam lodo seco os valores foram superiores ( $10^5 - 10^7$  NMP/100g), haja vista a concentração destes microorganismos ter sido elevada já na caracterização bacteriológica do lodo seco. No final do experimento (após sete meses), não foi detectada a presença por se tratar de um microorganismo exclusivo do trato intestinal humano e estar exposto ao ambiente externo desfavorável a sua sobrevivência. 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) do lodo calado, que também proporcionou uma redução de CF (99,99%). Todavia, a qualidade bacteriológica destes tratamentos ainda insatisfatória devido aos valores elevados, distantes dos recomendados pela Usepa (1992). De maneira geral, independente do tipo de lodo incorporado ao solo (seco ou calado), houve um aumento da concentração de microorganismos no solo, com a elevação das doses de lodo. A incorporação da matéria orgânica possibilita uma resposta pronunciada da população dos microorganismos à aplicação de nutrientes. A densidade de todos os grupos de organismos varia em função das características edáficas e climáticas específicas de cada ambiente sendo as bactérias o grupo mais numeroso.

#### 5.1.6. Teores de metais pesados no solo, lodo seco e calado

Os valores obtidos para o lodo ficaram muito aquém da concentração máxima permissível para seu uso agrícola. Neste tipo de material, era esperado encontrar valores baixos, pois o esgoto de Campina Grande (PB) é predominantemente doméstico com poucas indústrias lançando efluentes na rede coletora. Comparando-se os valores obtidos nos lodos seco e calado, verificou-se que o calado apresentou teores um pouco mais elevados de chumbo (70mg/kg) e manganês (100mg/kg); para o lodo seco os maiores teores 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). Esses resultados talvez possam ser explicados considerando-se as complexas reações que norteiam a disponibilidade dos metais pesados no lodo e que são influenciadas pelo processo de calagem.

### 5.1.7. Caracterização do líquido percolado

As características dos líquidos percolados variaram em função do tipo e consistência do lodo aplicado (seco ou calado) nas unidades experimentais. As maiores variações, em relação à testemunha absoluta (sem lodo), ocorrem nas unidades experimentais que receberam as maiores doses de lodo seco (350kgN/ha). As amostras compostas coletadas mensalmente apresentaram uma coloração, desde o castanho claro até o escuro.

Os valores de pH variaram na faixa de 6,5 até 8,4. Apesar da alta concentração de sódio na água de irrigação (527mg/L), o solo atuou como meio depurador para este íon com valores de até 65mg/L (testemunha). Nos tratamentos que receberam lodo seco, os líquidos percolados continham teores de sódio de 166 até 259mg/l, bem superior aos teores encontrados nos tratamentos que receberam lodo calado (78 – 134mg/l). Com relação ao nitrogênio, a maior concentração observada foi na forma de nitrato, com valores elevados no líquido percolado proveniente dos tratamentos onde o lodo seco foi incorporado. De maneira geral, pode-se dizer que as maiores concentrações ocorreram quando da utilização do lodo seco e na dosagem mais elevada (350kgN/ha). Os valores mais representativos foram para condutividade elétrica, com aumentos de 97% (lodo calado) a 326% (lodo seco), classificando esses líquidos como de elevada salinidade; para os íons cloretos e sódio os aumentos foram de 123% e 106% (lodo calado) e de 538% e 298% (lodo seco) respectivamente, o que pode elevar os riscos de salinização do solo e provável deterioração da qualidade das águas subterrâneas. Neste contexto e nas condições desenvolvidas nesta pesquisa é importante ressaltar que, na utilização de biossólidos, é preciso fazer um monitoramento da salinidade do solo.

### 5.1.8. Análise do crescimento

#### \* algodão

- altura e diâmetro caulinar – verificou-se que, a partir do 60º dia após a emergência (d.a.e.), os valores desses parâmetros foram maiores nos tratamentos que receberam lodo seco e para todas as doses estudadas, quando comparando os resultados obtidos para o lodo calado. Quando se avalia a altura final das plantas (após 120 dias), novamente as plantas cultivadas com lodo seco apresentaram um maior crescimento. O crescimento em altura se ajustou a um modelo linear ( $R^2 = 0,96$ ) (figura 9) para as plantas cultivadas em lodo calado, enquanto às cultivadas em lodo seco não se ajustaram nenhum modelo estudado. Para o diâmetro caulinar, as doses se ajustaram a um modelo polinomial para aquelas cultivadas em lodo seco ( $R^2 = 0,89$ ) e modelo polinomial de efeito quadrático para aquelas quanto para lodo calado ( $R^2 = 0,99$ ) (figura 10);
- fitomassa aérea – para essa variável observou-se que os resultados mostraram respostas significativas para todos os fatores estudados. Na interação “dose x consistência”, as plantas cultivadas na presença de lodo seco produziram quantidade maior de fitomassa aérea do que aquelas cultivadas com lodo calado, para cada dose estudada. Com relação às doses empregadas para cada consistência,

os resultados para o lodo seco se ajustaram a um modelo quadrático, com máximo de fitomassa (108g) na dose de 316kgN/ha. Para o lodo calado, a fitomassa se ajustou a um modelo linear ( $R^2 = 0,95$ ), como máximo de fitomassa (52g) para a dose de 350kgN/ha (figura 11);

- fitomassa radicular – o emprego dos dois tipos de lodo (calado e seco) não contribuiu para o aumento da fitomassa radicular, exceto para a dose de 70kgN/ha nas plantas cultivadas com lodo seco (figura 12).

### 5.1.9. Análise de componentes de produção

\* algodão

- número de capulhos – houve respostas significativas para os fatores estudados. No desdobramento “doses x consistência”, o número de capulhos nas plantas cultivadas com lodo seco foi significativamente superior àquelas cultivadas em lodo calado para as doses estudadas. Para o lodo seco, os resultados se ajustaram ao modelo de efeito quadrático ( $R^2 = 0,99$ ), com produção máxima de 12 capulhos por planta na dose de 243kgN/ha (figura 13).

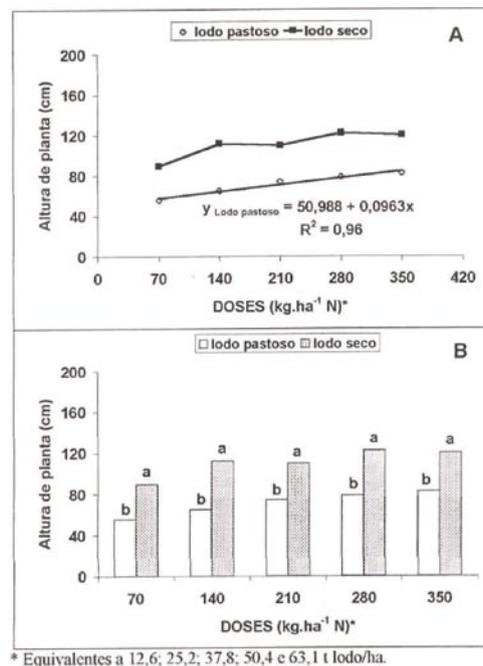


Figura 9 – Altura final de plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

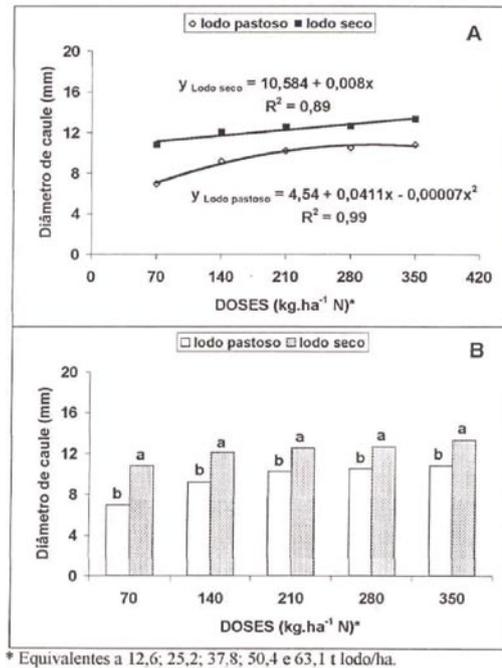


Figura 10 – Diâmetro final de caule em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

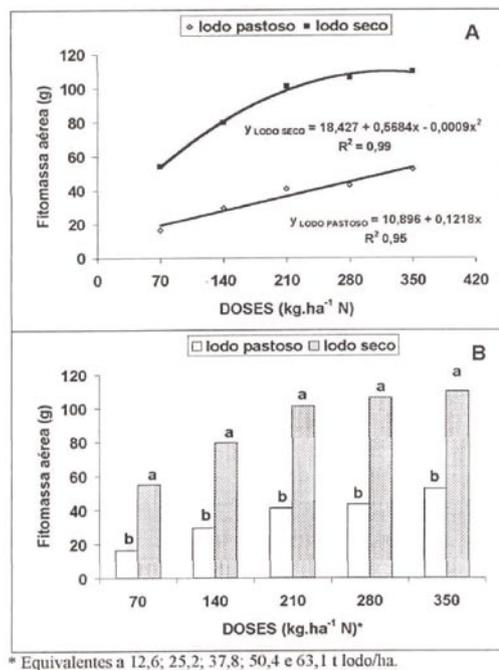
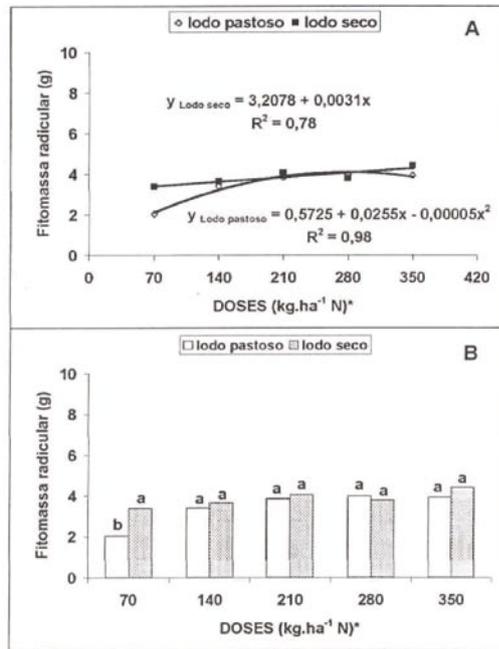
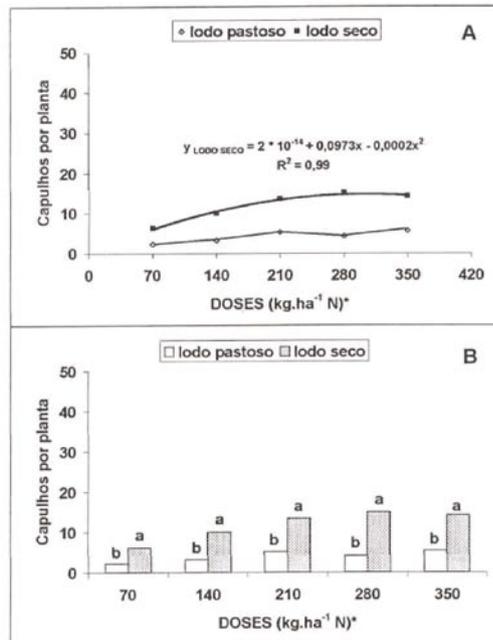


Figura 11 – Fitomassa aérea em plantas do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )



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

Figura 12 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do 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 13 – Número de capulhos 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

- rendimento (pluma + caroço) e pluma – o rendimento pluma + caroço, as doses crescentes de lodo seco promoveram um aumento neste rendimento, cujos dados se ajustaram ao modelo quadrático ( $R^2 = 0,94$ ), com uma produção máxima de 47g para a dose de 300kgN/ha. Para o lodo calado, houve um aumento linear no rendimento pluma + caroço ( $R^2 = 0,94$ ) porém, com resultados inferiores (20g na dose de 350kgN/ha) (figura 14). Para o rendimento da pluma (figura 15), os resultados foram semelhantes ao rendimento da pluma + caroço, com o maior peso da pluma (12g) ter sido alcançado na dose 231,5kgN/ha de lodo seco enquanto que para o lodo calado esses valores foram de 5g na dose de 350kgN/ha. De modo geral, é preciso destacar o efeito positivo do lodo seco na produção do algodoeiro, apresentando respostas superiores quando comparados ao lodo calado. Este efeito positivo pode ser associado ao método de secagem que, ao mesmo tempo em que promoveu a secagem, também preservou a matéria orgânica e os nutrientes existentes, o que favoreceu a ciclagem de nutrientes no solo, favorecendo o crescimento e produtividade da planta. No caso da calagem, houve perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, devido ao aumento excessivo do pH durante o processo de desinfecção e provocando um desequilíbrio dos nutrientes indisponibilizando-os para as plantas. A literatura é vasta nas experiências bem-sucedidas no aumento da produtividade de diferentes culturas com a aplicação de lodo seco, ressaltando os benefícios de sua utilização onde se destacam a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Essa disponibilidade adicional de nutrientes no solo melhora o desenvolvimento da planta, com maior produção de matéria seca (Marques et al., 2002). Sendo assim, o bio-sólido é um fertilizante potencial para diversas condições de clima e solo.

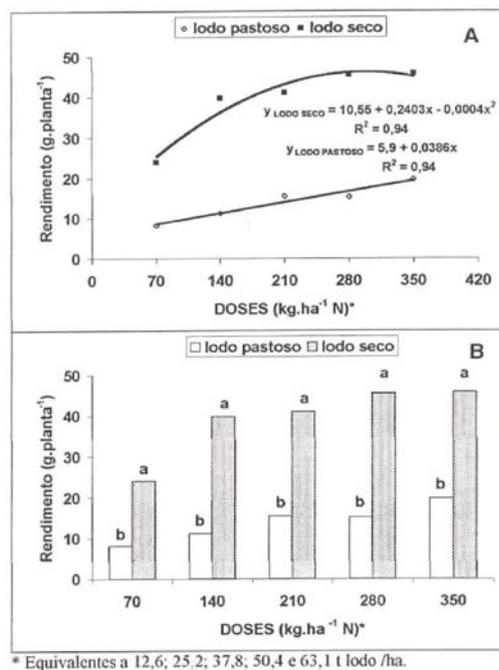


Figura 14 – Rendimento (pluma + semente) do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetida a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

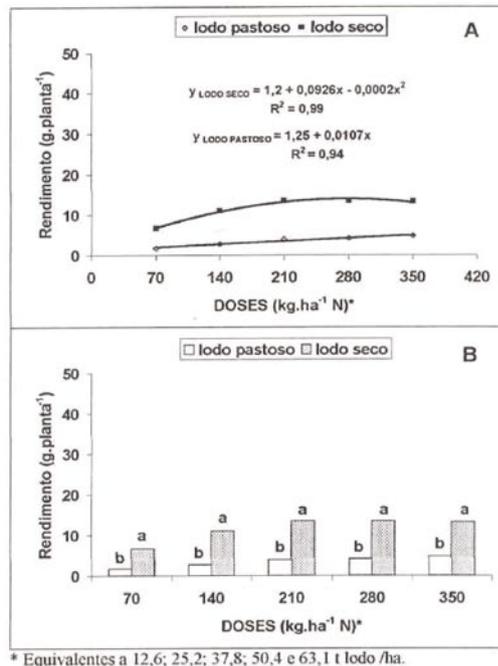


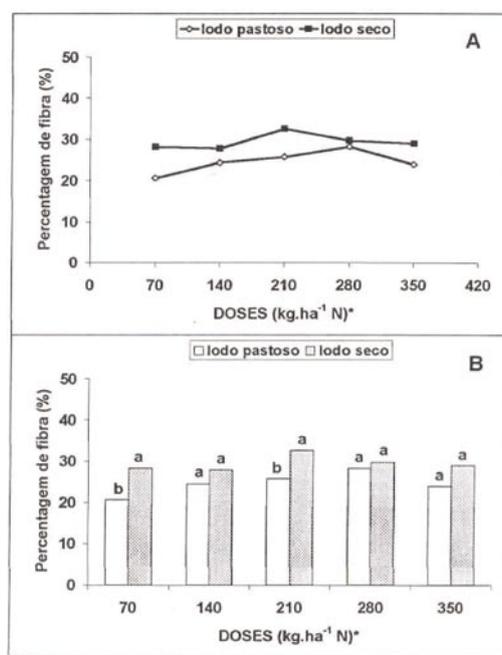
Figura 15 – Rendimento em pluma do algodoeiro herbáceo BRS-verde (experimento I), submetido a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

- percentagem de fibra – a percentagem de fibra foi maior nos tratamentos onde se aplicou o lodo seco, particularmente nas doses de 70 e 210kgN/ha e diferiram significativamente dos tratamentos que receberam lodo calado (figura 16);
- peso de 100 sementes – como o experimento foi conduzido em casa de vegetação e em pequenas unidades experimentais (baldes de 21l) com o acompanhamento do crescimento de uma única planta, as unidades experimentais testemunhas, do lodo calado e aquela referente a 70kgN/ha de lodo seco, não produziram 100 sementes inviabilizando o tratamento estatístico desta variável. Dessa forma, apenas esta foi analisada para o lodo seco, somente nas concentrações de 140, 210, 280 e 350kgN/ha, cujos dados não diferiram estatisticamente ( $p \geq 0,05$ );
- qualidade tecnológica da fibra – a quantidade de fibras produzidas nos tratamentos que receberam lodo calado, 70kgN/ha de lodo seco e as testemunhas não foi suficiente para a realização dos testes de qualidade tecnológica (tabela 7). Dessa forma, esta variável só foi analisada nos tratamentos com 140, 210, 280 e 350kgN/ha onde não se observaram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ). Com relação à qualidade física da fibra, esta se enquadrou como uniforme, na categoria média (27,95cm), com índice baixo de fibras curtas (<6,0%), a resistência foi considerada de forte a muito forte, com alto índice de alongamento à ruptura (acima de 7,6%), o índice Micronaire classificou a fibra como muito fina (<2,65µg/pol) e índice de fiabilidade enquadrou a fibra produzida na categoria média (entre 2.000 e 2.250). De modo geral, observou-se que nas variáveis uniformidade, resistência, alongamento e índice de fiabilidade diminuíram com o aumento das doses enquanto 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. A qualidade ou adequação ao uso do algodão em pluma, depende dos fatores externos (influência do ambiente) e internos (inerentes ao cultivar), 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.

Tabela 7 – Valores médios referentes à qualidade tecnológica do algodão BRS-verde

Tratam (kg/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 verde	27,95	84,50	-	25,85	-	2,65	-

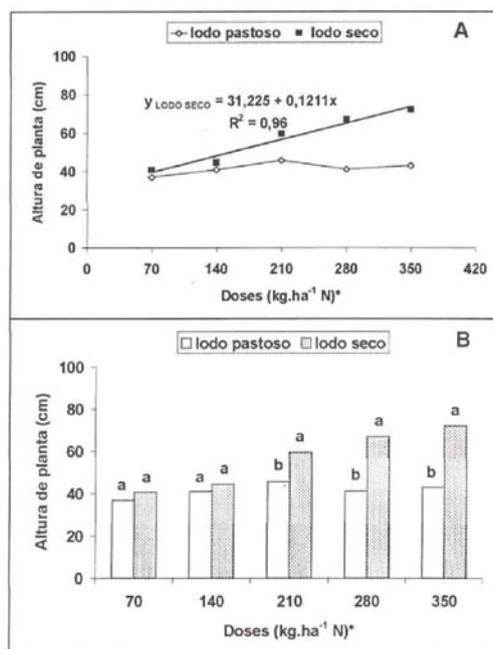


\* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 16 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

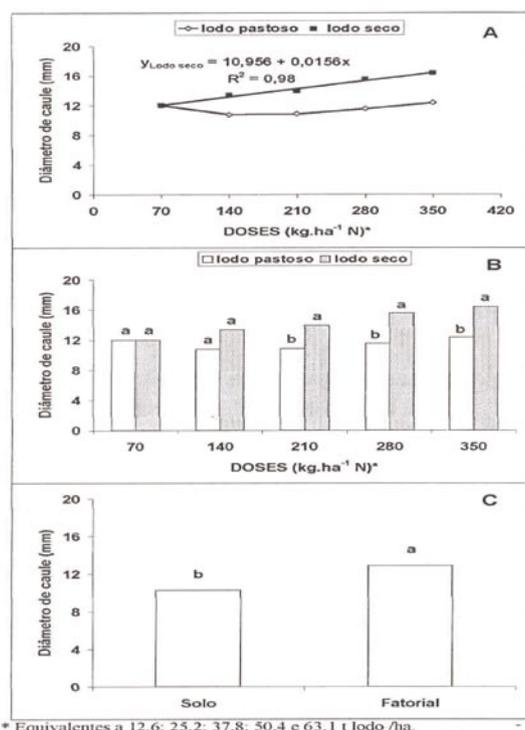
\* milho – os resultados mostraram que para as variáveis altura da planta, área foliar por folha e por planta, fitomassa radicular e aérea houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) para os fatores consistência e doses de lodo, sejam isolados ou combinados.

- altura da planta – os resultados da altura final das plantas, avaliada após 40 dias de crescimento, mostraram que as plantas cultivadas em lodo seco se destacaram daquelas que cresceram com lodo pastoso particularmente nas doses de 210 até 350kgN/ha. Os resultados do lodo seco se ajustaram ao modelo de efeito linear ( $R^2 = 0,96$ ) e os do lodo pastoso, os dados não foram significativos (figura 17);
- diâmetro caulinar – após 40 dias de cultivo, o mesmo comportamento foi observado, ou seja, maiores diâmetros nos tratamentos que receberam lodo seco ( $R^2 = 0,98$ ), a partir da dose de 210kgN/ha (figura 18);
- área foliar por folha e por planta – as áreas foliares por folha (figura 19) e por planta (figura 20) foram maiores nas plantas que receberam lodo seco cujo crescimento se ajustou ao modelo linear ( $R^2 = 0,91$ ) e na interação “dose x consistência” esse efeito foi significativo a partir da dose de 210kgN/ha;
- fitomassa radicular e aérea – para fitomassa radicular os resultados mostraram que as doses crescentes proporcionaram um aumento significativo nessa variável e se ajustaram ao modelo linear tanto para o lodo seco ( $R^2 = 0,96$ ) (figura 21) quanto para o lodo ( $R^2 = 0,91$ ). Na interação “doses x consistência” houve maior produção de fitomassa quando da incorporação de lodo seco a partir da dose de 140kgN/ha. Para fitomassa aérea (figura 22), os resultados se ajustaram ao modelo linear ( $R^2 = 0,94$ ) para o lodo seco e não significativo para o lodo pastoso. No estudo da interação “dose x consistência” houve maior produção de fitomassa aérea quando o lodo seco foi incorporado a partir da concentração de 210kgN/ha. A aplicação de lodo resultou em aumentos na produção de matéria seca em experimentos com milho (Pigozzo et al, 2001), em mamão (Krohling et al. 2000), em milho e feijão (Lourenço et al., 1995), em milheto (ROS et al., 1993), no girassol (Radwan, 1991) indicando um excelente uso do lodo de esgoto como fonte de nutrientes, quando se considera o efeito da matéria orgânica sobre as propriedades físicas e químicas do solo;
- comprimento da raiz – nos fatores estudados nesta pesquisa, não houve diferenças significativas nesta variável (figura 23);
- análise foliar – efeitos significativos foram observados tanto para os fatores isolados bem como na interação “doses x consistência” para as variáveis nitrogênio e potássio determinadas nas folhas do milho; para o fósforo houve resposta significativa para os dois fatores isolados e, para o cálcio, somente foi significativo para a consistência do lodo; não houve resposta significativa para o magnésio. Para o nitrogênio, o desdobramento da interação “dose x consistência do lodo” mostrou que as plantas cultivadas com lodo seco destacaram-se daquelas cultivadas com lodo pastoso para todas as doses estudadas sem que os dados tivessem se ajustado aos modelos testados. A maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas pela adição de lodo também foi observada por Ros et al., (1993) para o milho e por Berton et al., (1989) para o milheto. Para o fósforo, as folhas apresentaram maior



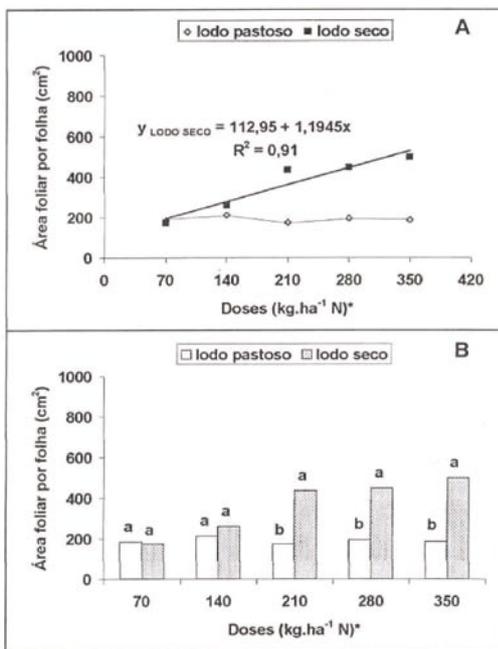
\* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 17 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )



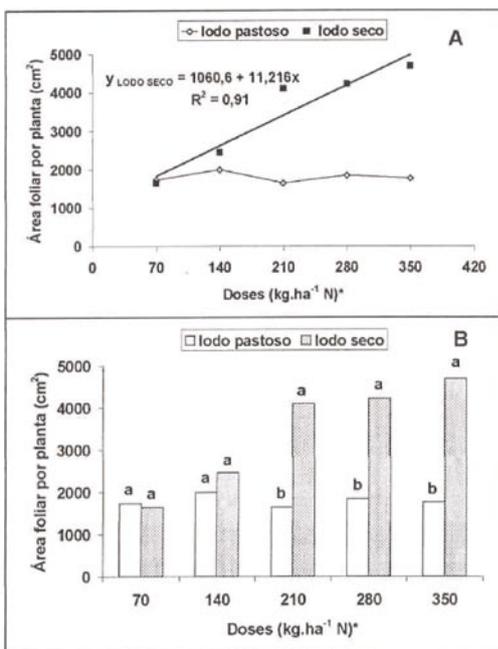
\* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 18 – Diâmetro de caule 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. Comparação entre consistências (B) e entre fatorial vs solo (C). Em B, cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )



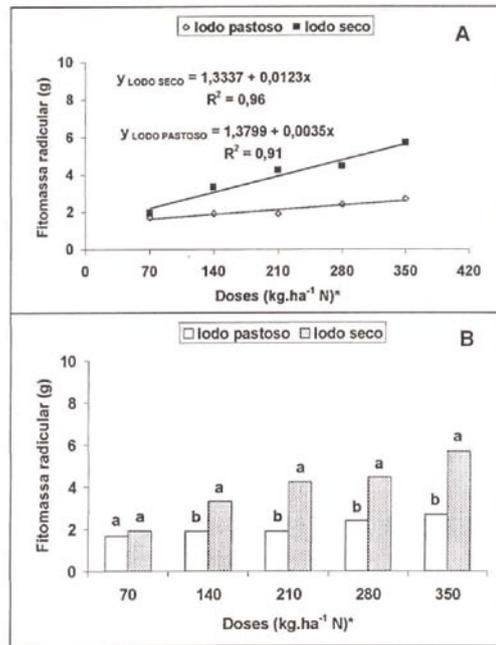
\* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 19 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )



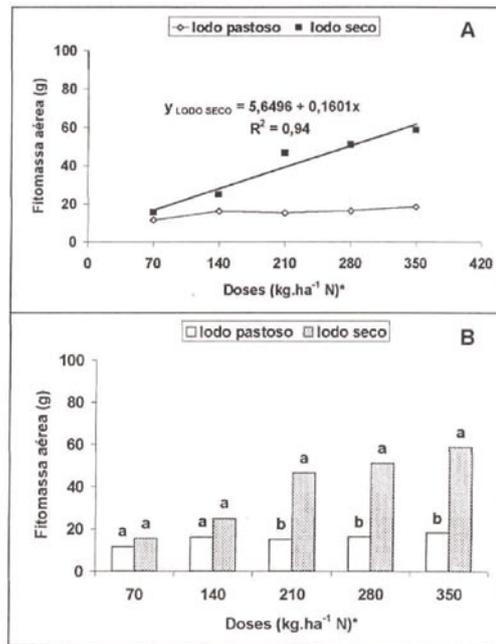
\* Equivalentes a 12,6; 25,2; 37,8; 50,4 e 63,1 t lodo /ha.

Figura 20 – Área foliar por planta em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do 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 21 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do 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 22 – 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. Em B, em cada dose, letras comparam as consistências do lodo, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

teor deste elemento quando cultivadas com lodo seco. Para ambas as consistências o ajuste foi linear:  $R^2 = 0,99$  e  $R^2 = 0,67$  para seco e pastoso respectivamente. Para o teor de potássio, o desdobramento “doses x consistência” mostrou que as plantas cultivadas com lodo pastoso destacaram-se estatisticamente daquelas cultivadas com lodo seco nas dosagens de 210 e 280kgN/ha. Quando se considerou a dose aplicada para cada consistência, os resultados das unidades experimentais que receberam o lodo seco se ajustaram a um modelo de efeito quadrático e com valores inferiores a aqueles obtidos para o lodo calado. Geralmente o biossólido é pobre em potássio e portanto, não é capaz de suprir as necessidades das plantas em relação a este nutriente, havendo a necessidade de complementação mineral. Portanto, sua utilização em agricultura requer um cuidado especial no sentido que não venha a faltar, resultando em reflexos negativos na produtividade. O potássio, apesar da baixa concentração na maioria dos lodos, está sob forma inorgânica, tornando-se prontamente disponível às plantas, diferente do nitrogênio que precisa passar por transformação química para se disponibilizar às culturas. O maior teor de cálcio nas folhas do milho ocorreu nas plantas cultivadas com lodo seco, se ajustando ao modelo linear ( $R^2 = 0,66$ ) e nas doses de 210 e 350kgN/ha quando se compararam “doses x consistências”.

De maneira geral, a higienização mais favorável sob ponto de vista agrônomo foi secagem ao ar, pois disponibilizou mais nutrientes tanto para o algodão quanto para o milho e solo, promovendo, para cada dose estudada, maior crescimento, número de capulhos, rendimento (algodão em pluma e em caroço), fitomassa aérea para as plantas do algodão. No estudo do efeito residual do lodo com a utilização do milho verificou-se que o lodo seco promoveu 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 as recomendações da Usepa (1992), enquanto a secagem não conseguiu reduzir os microorganismos patogênicos para a faixa estabelecida para a classe B. É preciso destacar que o tempo de exposição a luz solar foi de 20 dias, sob temperaturas entre 26°C e 38°C, promoveu uma redução de duas unidades logarítmicas e, caso fosse exposto a tempos maiores (30 a 40 dias), a qualidade microbiológica teria inserido, possivelmente, o lodo na classe B. A utilização da luz solar visando ao controle de organismos patogênicos de lodos de esgotos é um processo de baixo custo, disponível para as regiões tropicais como é o caso da região Nordeste com mais de 3.000 horas anuais de insolação.

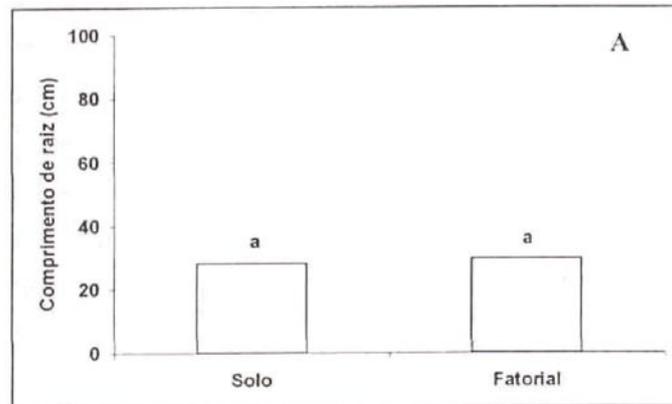


Figura 23 – Comprimento de raiz em plantas de milho AG 1051 (experimento II), submetidas a diferentes doses (A) e consistências (B) de lodo, em condições de casa de vegetação. Comparação entre fatorial vs solo (A)

O sucesso do programa de reciclagem do lodo está associado juntamente 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. Esses benefícios incluem não apenas aumento da produtividade, melhoria na qualidade das colheitas e a redução dos custos, mas também melhorias sobre a qualidade física, química e biológica do solo assegurando a longevidade da atividade agrícola.

A utilização do lodo envolve a discussão das características peculiares de cada região para encontrar os parâmetros de avaliação de seu uso potencial, particularmente na agricultura. O lodo só poderá ser utilizado na atividade agrícola se satisfizer alguns pré-requisitos que tornem seu uso seguro para os seres humanos, animais e para o ambiente. Além do mais, para que a reciclagem seja possível, é necessário que as áreas aptas para cultivos com as culturas permitidas para o uso do lodo estejam a uma distância economicamente viável dos pontos de geração de lodo. Um fator importante é o custo, que deve ser dividido em custos de produção do lodo, de transporte e de disposição, além daqueles relacionados aos investimentos, de ordem operacional e administrativa (Lara, 1999; Fernandes et al., 2001).

Nesta 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 ao solo devolvem a ele os minerais e a matéria orgânica que um dia de lá foram retirados. Essa maneira de ver o problema, aliada a um novo repertório ético, pode ser, também, o caminho para harmonizar o presente e o futuro próximo da humanidade (Vanzo, 2002).

## 5.2. Utilização de água residuária tratada no cultivo de algodão herbáceo

### 5.2.1. Solo

O solo da região Nordeste é caracterizado por uma grande diversidade ambiental (Sampaio et al., 1995) o que dificulta as generalizações sobre a fertilidade dos solos. Porém, os autores concluem que são comuns as deficiências de fósforo e nitrogênio, enquanto as de potássio e cálcio são restritas. Os solos na região de Campina Grande (PB), (tabela 8) foram classificados como neossolos regolíticos associados, de textura média (Embrapa, 1999). Em todos os blocos experimentais foram observadas condições de normalidade de salinidade e a sodicidade, ausência de alumínio trocável e pH próximo à neutralidade (6,6 – 7,3), caracterizando um solo com boas condições para o cultivo do algodão. Foram observados também baixa condutividade elétrica (1,22dS/cm), baixos teores de nitrogênio (0,6g/kg) e matéria orgânica (11,6g/kg) com baixo teor médio de fósforo assimilável, na maioria bem menos que o denominado nível crítico (10mg/dm<sup>3</sup>). O solo apresentou natureza textural equilibrada, teor de argila de bom nível, associado a um bom teor de silte. (Tabela 9). A densidade aparente do solo teve valor médio pouco elevado (1,38g/cm<sup>3</sup>), porém suportável para o algodoeiro, haja vista que valores acima de 1,6g/cm<sup>3</sup> já são problemáticos para as plantas, dificultando a penetração das raízes (Kiel, 1979). A porosidade, que desempenha importante função agrônômica retendo água, permitindo a penetração das raízes e facilitando a aeração do solo, apresentou valores entre 47% e 49%. A disponibilidade de água no solo, nos blocos experimentais, variou de 5,53% até 7,78%, sendo considerada razoável.

Após o término do experimento, uma nova análise do solo confirmou a elevada contaminação microbiológica do solo, na ordem de 10E05UFC/100g, tanto nas parcelas irrigadas com água de abastecimento quanto naquelas irrigadas com água residuária, para os indicadores coliformes termotolerantes e *E.coli*. Essa contaminação foi associada à presença de bactérias entéricas já existentes no solo antes do início do experimento, pela introdução via efluentes de água residuária como também pela elevada capacidade de manterem-se vivos no solo sob determinadas condições relatadas por Feachem et al. (1983).

Tabela 8 – Características químicas do solo na área experimental localizada na ETE de Campina Grande (PB)

Blocos	I	II	III	IV
<b>Fertilidade do solo</b>				
Cálcio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,14	2,64	3,14	2,97
Magnésio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,34	3,64	3,00	3,33
Sódio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,46	0,76	0,36	0,53
Potássio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,48	0,14	0,24	0,29
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	7,42	7,18	6,74	7,11
Hidrogênio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,00	1,32	0,00	0,44
Alumínio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00
CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	7,42	8,50	6,74	7,55
Carbonato de cálcio qualitativo	presença	presença	ausência	ausência
Carbono orgânico (g/kg)	6,9	8,9	4,5	6,8
Matéria orgânica (g/kg)	11,9	15,3	7,7	11,6
Nitrogênio (g/kg)	0,6	0,8	0,4	0,6
Fósforo assimilável (g/kg)	0,01	0,004	0,003	0,006
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	7,32	7,26	6,6	6,93
C.E. (dS/m)(suspensão solo-água)	0,22	0,23	0,25	0,23
<b>Salinidade do solo</b>				
pH (extrato de saturação)	6,94	6,95	6,36	6,65
C.E. (dS/cm) (extrato de saturação)	0,62	2,60	0,45	1,22
Cloreto (mmol <sub>c</sub> /l)	3,75	25,00	2,50	10,42
Carbonato (mmol <sub>c</sub> /l)	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato (mmol <sub>c</sub> /l)	3,00	1,10	2,40	2,17
Sulfato (mmol <sub>c</sub> /l)	ausência	ausência	ausência	ausência
Cálcio (mmol <sub>c</sub> /l)	1,12	1,87	0,50	1,16
Magnésio (mmol <sub>c</sub> /l)	1,38	10,63	2,50	4,84
Potássio (mmol <sub>c</sub> /l)	0,44	0,18	0,26	0,29
Sódio (mmol <sub>c</sub> /l)	2,96	19,96	2,46	8,46
Porcentagem de saturação	30,00	31,66	28,33	30,00
RAS	2,64	7,98	2,02	4,21
PSI	6,20	8,94	5,34	6,83
Salinidade	Não salino	Ligeiramente salino	Não salino	Não salino
Classe de solo	normal	normal	normal	normal

Tabela 9 – Características físicas do solo na área experimental localizada na ETE de Campina Grande (PB)

	Blocos			
	I	II	III	IV
Granulometria (g/kg)				
Areia	585,7	559,4	593,7	579,6
Silte	155,8	165,4	131,7	151,0
Argila	258,5	274,5	274,7	269,2
Classificação textural	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	13,6	14,0	14,0	13,9
Densidade real (kg/m <sup>3</sup> )	26,6	27,1	26,8	26,8
Porosidade (%)	49,07	48,39	47,95	48,47
Umidade (%)				
Natural	1,76	1,42	1,46	1,55
0,33 atm	10,02	11,95	12,17	11,38
Equivalente	-	-	-	-
15,00 atm	4,49	4,30	4,39	4,39
Água disponível	5,53	7,65	7,78	6,99

Na análise estatística dos resultados da fertilidade do solo, após o término do experimento, destacaram-se fósforo total, potássio, e o sódio trocável. O primeiro mostrou que, apesar do elevado teor de fósforo total na água residuária, não houve diferenças estatísticas desse elemento importante no metabolismo das plantas. Quanto aos teores de potássio trocável verificaram-se diferenças significativas entre os tipos de água para as doses de nitrogênio aplicadas e para a interação entre esses dois fatores estudados, com incremento de 57,55% pela água residuária com relação à água de abastecimento e independente do lastro de potássio colocado como fundação, denotando uma riqueza da água residuária nesse elemento em relação à água de abastecimento. No teor de sódio trocável verificaram-se valores significativos ao nível de 1% pelo teste F entre os tipos de água utilizada, sem o acompanhamento de fertilização química de N, P e K. A água residuária aumentou em 100% o teor de sódio trocável no solo nos quatro meses de cultivo, o que é preocupante, porém solucionável com manejo adequado de rotação de culturas e contínuo monitoramento do solo entre outras medidas.

No extrato de saturação do solo houve aumentos significativos em relação ao tipo de água utilizado para as variáveis sódio, RAS e PSI, com valores maiores para a água residuária. Não houve diferença estatística para a CE para os dois tipos de água.

### 5.2.2. Água

A água de abastecimento utilizada na irrigação apresentou baixo nível de salinidade ( $< 0,5\text{dS/cm}$ ), pH dentro da normalidade (6,5 – 8,4). Os teores de sódio e cloretos foram muito elevados quando comparados com outras análises realizadas no manancial (açude Epitácio Pessoa (PB)). Esta água, cuja classificação é C2, apresentou no período de estiagem teores de sódio e cloretos que variaram de 52 - 225mg/l e 117 - 353mg/l respectivamente, alertando para os perigos de sua utilização em longo prazo, já que estes íons podem provocar problemas de queimaduras e necroses nas plantas (Ayers e Westcot, 1999). A água residuária apresentou elevada condutividade elétrica (1,5dS/cm) e concentrações de cloretos (226mg/l) e sódio (114mg/l), destacando-se dos demais íons avaliados. Essa elevação na água residuária, quando comparada à água de abastecimento, foi resultado da incorporação de muitos sais oriundos dos detergentes, sabões, fezes humanas, etc. As concentrações encontradas, no entanto, ainda estavam dentro dos limites tolerados pelas plantas cultivadas. A utilização contínua de águas residuárias, com elevados teores salinos é motivo de alerta, haja vista que tratamentos convencionais e biológicos são pouco eficientes na remoção de íons (Tsutiya, 2001), resultando na afirmação que a irrigação com esgotos domésticos é essencialmente uma fertirrigação salina (Bastos, 1992). Outros parâmetros avaliados mostraram teores reduzidos de oxigênio dissolvido (0,6 – 4,5mg/l), elevados de nitrogênio amoniacal (46,6 – 53,5mg/l) e fósforo total (6,1 – 7,4mg/l) e número elevado de coliformes termotolerantes ( $2,5\text{E}+06$ - $5,0\text{E}+06$ UFC/100ml), porém aceitáveis para a Organização Mundial da Saúde para irrigação de cultivos da classe B (WHO, 1989). A introdução de efluentes com estas características causam elevado impacto negativo no corpo receptor, mas, com a prática do reuso agrícola, essas elevadas concentrações são uma vantagem, traduzindo-se em economia de fertilizantes (Silva et al., 1995). Com relação aos ovos de helmintos, estes estiveram ausentes no efluente final, confirmando a eficiência de lagoas de estabilização na remoção de helmintos pelo processo de sedimentação (Silva, 1982).

### 5.2.3. Características não destrutivas

O crescimento do algodoeiro, avaliado pelas variáveis: altura da planta, diâmetro caulinar e área foliar (figura 24), foi afetado pelos tratamentos aplicados (doses de nitrogênio e tipo de água de irrigação). A análise estatística aplicada aos resultados mostrou que as alturas da plantas e diâmetros caulinares se ajustaram melhor ao modelo sigmoidal enquanto que a área foliar se ajustou ao modelo exponencial, sendo o expoente uma função polinomial. Para a variável altura da planta, a dose de 0kgN/ha e irrigada com água residuária promoveu o melhor crescimento da planta em relação à água de abastecimento. A irrigação com água de abastecimento, o maior crescimento ocorreu na dose de 90kgN/ha. Não houve diferenciação entre os dois tipos de água na dose de 120kgN/ha. Porém na dose de 180kgN/ha, a situação foi modificada e o efeito da água residuária foi menor, possivelmente pelo excesso de nitrogênio

disponível no solo, causando desequilíbrio entre os outros nutrientes envolvidos no processo de absorção pelas plantas, fato este que também ocorreu para as outras duas variáveis estudadas (diâmetro do caule e área foliar).

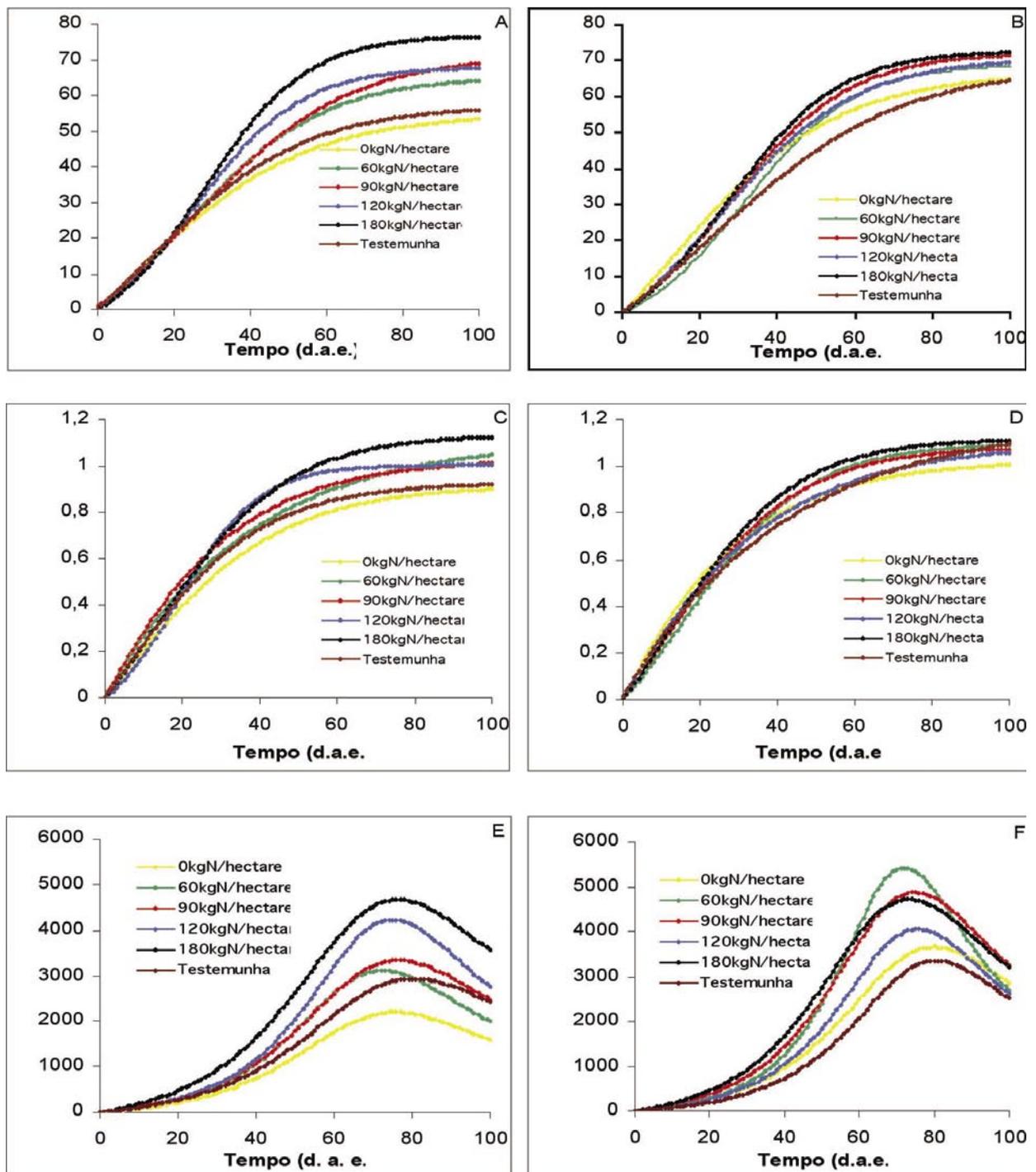


Figura 24 – Curvas do comportamento das variáveis de crescimento do algodoeiro herbáceo para altura (A e B), diâmetro caulinar (C e D) e área foliar (E e F) quando submetidas à irrigação de água de abastecimento e efluente de lagoas de estabilização, respectivamente

#### 5.2.4. Análise de componentes de produção

Para o fator tipo de água utilizada, houve significância estatística para as variáveis: peso de um capulho, peso de 100 sementes, percentagem de fibra e produtividade de algodão em caroço (tabela 10). Para o fator doses de nitrogênio, efeitos significativos foram observados para as variáveis peso de um capulho e produtividade de algodão em caroço. Para a interação “tipo de água x doses de nitrogênio” verificou-se significância estatística somente para percentagem de fibra e produtividade de algodão em caroço. Por outro lado, as funções lineares simples, contrastes ortogonais, fatorial (efeito médio de todos os tratamentos testados, exceto a testemunha) e a própria, foram significativos para todas as variáveis exceto para peso de um capulho. Entre as testemunhas absoluta e relativa somente para a variável produtividade em algodão em caroço ocorreu significância estatística. Os coeficientes de variação obtidos para todas as variáveis foram baixos, denotando boa precisão experimental.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância para as variáveis número de capulho por planta, peso de 100 sementes, percentagem de fibra, peso de capulho e produtividade de algodão em caroço, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		Número de capulhos/planta (1)	Peso de capulho (g)	Peso de sementes 100 (g)	% fibra	Produtividade de algodão em caroço (kg/ha)
Tipo de água (A)	1	0,189	0,961	10,000	41,006	4204938,87
Doses (D)	4	0,180	1,406	0,187	0,927	1583593,629
Linear	1	0,088	4,658	0,400	0,961	2106246,412
quadrática	1	0,297	0,577	0,095	0,037	5703270,400
cúbica	1	0,250	0,315	0,225	2,209	1686205,720
Desvio de regressão	1	0,084	0,073	0,030	0,500	819125,430
AxD	4	0,246	0,270	0,937	2,196	1778536,405
Fat. x Test.	1	0,742	2,926	0,048	3,343	8339647,862
Testemunha	1	0,307	0,583	1,714	1,214	6384236,445
Bloco	3	0,829	0,657	2,510	0,877	3486054,802
Resíduo	32	0,151	0,143	0,811	0,681	277273,151
Total	46	–	–	–	–	–
C.V. (%)	–	11,2	5,1	6,7	2,1	16,3

(1) dados transformados  $Y = (x + 1)^{1/2}$ .

O número de capulhos por planta (principal componente de produção), não foi alterado significativamente pelos fatores testados e sua interação, porém foi menor na testemunha absoluta (tabela 11), devido provavelmente à menor nutrição mineral envolvendo o fatorial (média de todos os tratamentos adubados) com os dois tipos de água usados. A aplicação da água residuária, independente da dose de nitrogênio, aumentou o peso do capulho que foi relacionado à presença de maior quantidade de nutrientes na água disponível às plantas. A relação entre doses de nitrogênio e o peso de um capulho foi linear. O peso de 100 sementes também foi maior com a irrigação de água residuária.

Tabela 11 – Valores médios das variáveis número de capulhos por planta, peso de 100 sementes, peso de capulho em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo

Fatores	Número de capulhos/planta(1)		Peso de capulho (g)	Peso de 100 sementes (g)
	Original	Transformado		
Tipo de água				
Abastecimento	11,10a	3,45a	7,29b	13,00b
Residuária	12,10a	3,59a	7,60a	14,00a
Doses (kgN/ha)				
0	10,13	3,3	6,74	13,25
60	13,13	3,73	7,54	13,63
90	11,63	3,53	7,49	13,5
120	11,63	3,53	7,61	13,5
180	11,50	3,52	7,85	13,63
Fatorial	11,60a	3,52a	7,45a	13,50a
Controle	9,38b	3,19b	6,80b	13,43a
Entre testemunhas				
Abastecimento	8,25a	2,99a	6,32a	14,33a
Residuária	10,50a	3,38a	7,05a	13,00a

Em cada coluna e para cada fator, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

(1) dados transformados em  $Y = (X + 1)^{1/2}$ .

A percentagem de fibra foi maior com a utilização de água de abastecimento, ocorrendo o inverso com o observado para o peso de 100 sementes, estando este dependente das doses de nitrogênio (tabelas 12 e 13), pois, à medida que as sementes ficam mais pesadas há uma tendência na redução do conteúdo de fibras que, segundo Meredith Jr. (1984), é devido provavelmente à competição interna das fibras que são células individuais, cada uma com 25 camadas de celulose na parede secundária e cerca de 11.000 a 14.000 células por semente de algodão.

Tabela 12 – Desdobramento da interação tipo de água x doses de nitrogênio para as variáveis percentagem de fibra e produtividade de algodão em caroço, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo

Fonte de variação	GL	% fibra	Produtividade de algodão em caroço (kg/ha)
Tipo de água	1	41,006**	4204938,870**
Doses/água de abastecimento	4	2,016*	2956,783.639**
Linear	1	4,704*	10280776,224**
Quadrática	1	0,428 <sup>n.s.</sup>	182103,610 <sup>n.s.</sup>
Cúbica	1	0,098 <sup>n.s.</sup>	8347,698 <sup>n.s.</sup>
Desvio de regressão	1	2,834*	1355907,025 <sup>n.s.</sup>
Doses/água residuária	4	1,106 <sup>n.s.</sup>	405346,394 <sup>n.s.</sup>
Linear	1	0,612 <sup>n.s.</sup>	83831,826 <sup>n.s.</sup>
Quadrática	1	0,146 <sup>n.s.</sup>	49331,797 <sup>n.s.</sup>
Cúbica	1	3,200*	63118,230 <sup>n.s.</sup>
Desvio de regressão	1	0,467 <sup>n.s.</sup>	1425103,725 <sup>n.s.</sup>
Bloco	3	0,871	3486054,802
Resíduo	32	0,681	277273,151

n.s. - não significativo; \* significativo a 5% pelo teste F; \*\* significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 13 – Valores médios do desdobramento da interação tipo de água x doses de nitrogênio para a variável percentagem de fibra, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo

Doses (kg/N/ha)	Fibra %	
	Água de abastecimento	Água residuária
0	41,05a	38,42b
6,0	40,30a	37,80b
9,0	41,22a	38,05b
120	40,02a	39,17a
180	39,52a	38,55a

Nas linhas médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a produtividade do algodão em caroço (tabela 14) verificou-se que o fator doses de nitrogênio não foi significativo com o uso de água residuária, denotando-se que os nutrientes nela contidos foram responsáveis pelo aumento de produtividade. No caso da água de abastecimento observou-se efeito significativo nas doses de nitrogênio de 0, 60 e 120kg/ha com regressão significativa. O uso de água residuária permitiu a obtenção de elevada produtividade, superior a 3.300kg/ha em algodão em caroço, o que correspondeu a mais de 1.200kg/ha de fibra, valor este bem acima da média mundial da safra 2001/2002 entre os cinco países maiores produtores do mundo (ICAC, 2002), produtividade esta comparável com aquela que recebeu 180kg/ha de adubação mineral, aspecto muito importante do ponto de vista prático, mostrando que a água residuária pode fornecer parte ou até mesmo a totalidade dos nutrientes necessários para esta cultura industrial.

Tabela 14 – Valores médios do desdobramento da interação tipo de água x doses de nitrogênio para a variável produtividade de algodão em caroço, em função do tipo de água e doses de nitrogênio na cultura do algodoeiro herbáceo

Doses (kg/N/ha)	Produtividade do algodão em caroço (kg/ha)	
	Água de abastecimento	Água residuária
0	1920,725b	3584,100a
6,0	2580,700b	3924,675a
9,0	3642,050a	3325,300a
120	3236,375b	4157,950a
180	4092,050a	3722,150a

Nas linhas médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

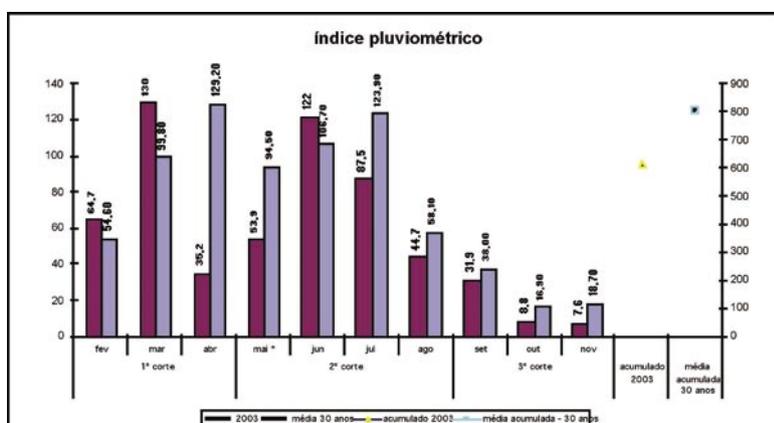
### 5.2.5. Características tecnológicas da fibra

Verificou-se ausência de interações significativas entre os fatores estudados (tipo de água, doses de nitrogênio, testemunhas) para as características tecnológicas da fibra, indicando a independência entre os fatores estudados. Efeitos significativos foram observados para as variáveis: comprimento de fibra, alongamento, finura e fiabilidade quando se analisaram os tipos de água de irrigação. Houve uma diminuição na fiabilidade sem, no entanto, comprometer a qualidade global e de fiação, pois a fibra obtida foi de excelente qualidade, dentro da faixa exigida pela indústria têxtil nacional e internacional (Santana & Wanderley, 1995). A qualidade de brancura da fibra foi alta, atestada pelo índice de reflectância elevado (superior a 78%), característica que eleva o valor comercial do produto em caroço e da pluma no mercado.

## 5.3. Utilização de água residuária tratada no cultivo do capim-elefante

### 5.3.1. Precipitações pluviométricas no período experimental

As precipitações pluviométricas mensais ocorridas no período experimental (fev- nov/ 2003) e o valor médio mensal correspondente à série histórica de 30 anos (LMRS, 2003, comunicação pessoal) são mostrados na figura 25. Em 2003, as precipitações foram bastante irregulares em relação à média histórica destacando-se os meses de fevereiro, março e junho com valores acima da média. No período do experimento destacaram-se os meses de abril, maio e julho cujo volume de chuvas foi muito abaixo da média cerca de 72%, 43% e 29% respectivamente. Esta variabilidade reflete-se em relação à média histórica. O volume acumulado no ano de 2003 de 613,50 mm foi inferior em 24% à média histórica de 802,7mm, evidenciando a irregularidade e intensidade das chuvas na região, cujos reflexos são sentidos na agricultura das pequenas propriedades que têm exclusivamente nas chuvas, a única fonte hídrica para ser ou não bem-sucedida. Na região de Campina Grande, o período chuvoso inicia-se em fevereiro-março e se estende até agosto-setembro restringindo a produção agrícola em seis meses do ano, comprometendo a sobrevivência do nordestino nas áreas rurais.



Fonte: LRMS (2003 comunicação pessoal)

Figura 25 – Comparação dos índices pluviométricos de 2003 com a média dos últimos 30 anos. O mês de maio (\*) também faz parte do período do 1º corte (13/2005)

Os valores da precipitação pluviométrica ocorrida nos intervalos dos três ciclos de cultivo do capim estão na figura 26 e mostram que os 1º e 2º cultivos foram aqueles que receberam maior volume de água de chuva, dispensando muitas vezes a aplicação das lâminas de irrigação.

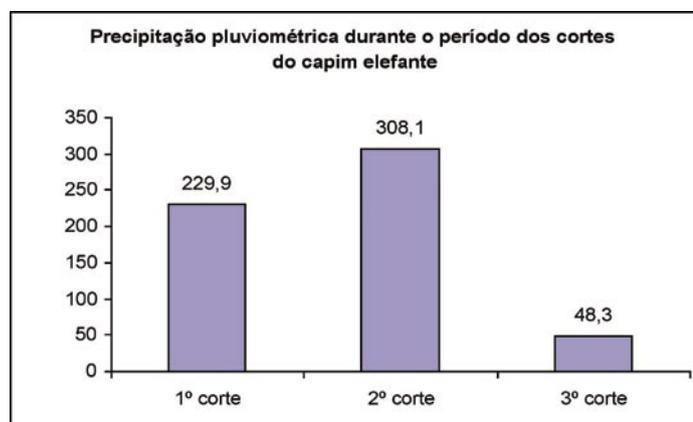


Figura 26 – Precipitação pluviométrica durante o período de crescimento que resultaram nos cortes do capim-elefante

### 5.3.2. Água de irrigação

Os valores médios dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água residuária utilizada, no período de 5/2 a 10/11/2003, na irrigação do capim-elefante estão na tabela 15.

O valor médio do pH no efluente final (água residuária) durante o período experimental foi de 7,05 e inserido na faixa entre 6,5 e 8,4 considerado por Ayers & Wescot (1991) e Paganini, (1997) como adequados para irrigação, pois não disponibilizam íons tóxicos para a planta. Os valores médios da condutividade elétrica do efluente final variaram em torno de 1.650µS/cm sem grandes oscilações no período experimental, porém de valor elevado para uma água de irrigação havendo a necessidade do controle da salinidade e cuidados na escolha da cultura irrigada (Ayers E Wescot, 1991). Os íons que mais contribuíram para a elevada C.E. foram cloreto (274 – 456mg/l), bicarbonato (410 – 480mg/l) e sódio (203 – 230mg/l), reforçando a idéia que a utilização de águas residuárias na irrigação de culturas não passa de uma fertirrigação salina (Bastos, 2003) O efluente final da ETE continha pouco oxigênio dissolvido (1,3 – 2,0mg/l), DBO entre 35 e 64mg/l, e DQO entre 726 e 960mg/l, indicando elevados valores de matéria orgânica (biológica e quimicamente degradável). A ETE de Campina Grande necessita de obras de expansão devido ao aumento da população servida pela rede coletora. Essa vazão aduzida muito além daquela proposta no projeto de construção do sistema, fez com que ele esteja funcionando além de sua capacidade de tratamento e como conseqüência compromete a qualidade do efluente particularmente nos altos valores de DQO. Com relação aos altos valores de cloretos (274-456mg/l), bicarbonatos (410-480mg/l) e sódio (203-230mg/l) está relacionado às características das águas superficiais da região. O manancial que abastece a cidade de Campina Grande está localizado em uma região de solos calcários e devido às características climáticas da região, com períodos longos de estiagem (seis meses ou mais), ocorre uma evaporação excessiva, o que concentra na água os sais dissolvidos e entre eles destacam-se o sódio e o cloreto.

As concentrações médias, mínima e máxima de amônia (46,0 e 52,0mg/l), fósforo total (5,3 – 6,0mg/l) e ortofosfato solúvel (3,1 e 4,2mg/l), foram elevadas, evidenciando a riqueza nutricional dos efluentes de ETEs que tratam esgoto domésticos, os quais lançados nos corpos receptores, sem um tratamento terciário para remoção de nutrientes, propiciam condições adequadas para o desencadeamento do processo de eutrofização, particularmente na região Nordeste onde os rios são intermitentes na época de baixa precipitação pluviométrica que, aliada à falta de saneamento básico das regiões urbanas, transforma-os em escoadouros dos esgotos domésticos inviabilizando os usos mais nobres das águas superficiais, embora mais que suficiente para a substituir os fertilizantes inorgânicos na atividade agrícola.

Tabela 15 – Média dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente final da ETE de Campina Grande (PB) e utilizado na irrigação do capim-elefante no período de 5/2 a 10/11/2003

Parâmetros	1º corte 5/2 – 13/5/2003	2º corte 14/5 – 5/8	3º corte 6/0 - 10/11/2003
pH	7,05	7,05	7,05
C.E. (µmho/cm)	1.654	1.642	1.686
Cálcio (mg/l)	28	17	18
Magnésio (mg/l)	35	36	38
Cloretos (mgCl-/l)	274	456	274
Bicarbonato (mg/l)	410	420	480
Sódio (mgNa/l)	203	225	230
Potássio (mgK/l)	35	28	37
OD (mg/l)	1,3	1,6	2
DBO (mg/l)	48	35	64
DQO (mg/l)	780	814	926
Amônia (mgNH <sub>3</sub> -N/l)	48,5	52	46
Fósforo Total (mgP/l)	6	5,8	5,3
OrtoP-Solúvel (mgP/l)	4,2	3,6	3,1
C.Term..(UFC/100ml)	1,70E+06	1,60E+06	1,70E+06
Helminhos (nº ovos/l)	0	0	0

O efluente final utilizado mostrou qualidade microbiológica inferior, com valores médios de coliformes termotolerantes na ordem de  $10^6$  UFC/100ml não se adequando aos padrões recomendados pela OMS (WHO, 1989) para o uso em irrigação irrestrita que é de  $\leq 1.000$  UFC/100ml. A mesma recomendação ressalta que efluentes de ETEs com estas concentrações de indicadores de contaminação fecal podem ser utilizados na irrigação de culturas da classe B (irrigação de culturas cerealíferas, industriais, forrageiras, pastos e árvores) pois não aponta para nenhuma restrição para os coliformes fecais mas limita o seu uso caso o efluente contenha  $\leq 1$  ovo de nematóides intestinais/l. Os valores médios elevados de coliformes termotolerantes encontrados na água de irrigação, utilizada em cada um dos ciclos de cultivo, evidenciaram o risco potencial para a saúde envolvido na utilização de águas residuárias e reforça a necessidade do controle técnico-sanitário rígido com a adoção de sistemas de tratamento que garantam a remoção dos microorganismos, reduzindo os riscos de exposição, particularmente para os trabalhadores. Apesar de a qualidade microbiológica não satisfazer a utilização do efluente na irrigação irrestrita, o sistema de tratamento foi capaz de remover totalmente os ovos de helmintos presentes no esgoto bruto afluente (média de 12 ovos/l), indicando a boa capacidade que sistemas de lagoas de estabilização têm em remover ovos de nematóides intestinais, devido aos tempos de detenção, que segundo a OMS (WHO, 1989) devem estar entre oito e dez dias.

### 5.3.3. Solo

O solo onde foi conduzido o experimento já apresentava, antes mesmo do início, elevada contaminação:  $10^5$  NMP/g de solo de coliformes termotolerantes e  $10^3$  NMP/g de solo de *E.coli* (figura 27). No último corte, após as parcelas terem sido submetidas a 11 meses de irrigação, os resultados finais mostraram um aumento de duas unidades logarítmicas para ambos indicadores de contaminação fecal, aumento esse independente do tipo de água utilizada (abastecimento e residuária) e do volume aplicado (lâminas de irrigação). A elevada contaminação inicial do solo foi associada à proximidade da área experimental com as lagoas de estabilização, que não excedia cinco metros, como também das condições edáficas particulares, particularmente durante o 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> de cultivo, que podem ter favorecido a sobrevivência desses microorganismos. Dentre eles citam-se a umidade do solo, garantida ou pelas chuvas ou pela irrigação, pela presença da matéria orgânica oriunda da água residuária e mesmo pelo sombreamento do capim sobre o solo, o que diminuía a temperatura do solo. Além desses fatores, esses microorganismos sobrevivem por mais tempo no solo que na superfície exposta das plantas, onde ficam mais susceptíveis aos raios solares. Segundo a OMS (WHO, 1989), o período de sobrevivência de bactérias termotolerantes (CTerm.) no solo pode chegar a 70 dias e comumente menos de 20 dias. Um outro fator que pode ter contribuído para a elevada contaminação do solo, independente das lâminas aplicadas, foi a reduzida dimensão das parcelas (4x5 m) com somente 1m entre parcelas, o que poderia ter permitido certa mobilidade das bactérias através dos interstícios úmidos do solo.

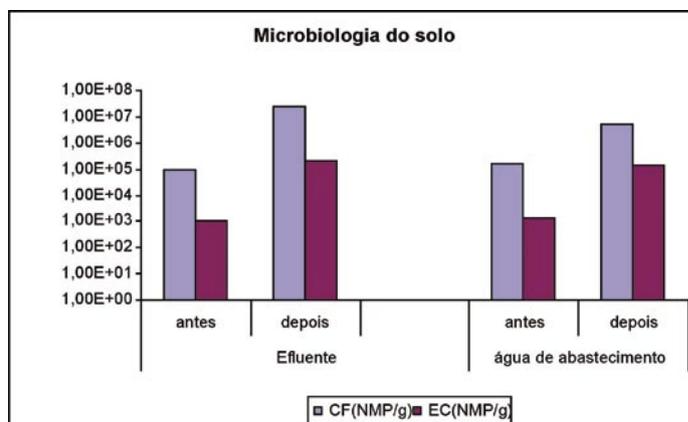


Figura 27 – Contaminação do solo irrigado com água de abastecimento e água residuária (efluente), antes e após o período experimental

#### 5.3.4. Parâmetros de crescimento – altura da planta e diâmetro de colmo

Como a análise de variância a 5% mostrou a ausência de significância entre os valores obtidos para a altura das plantas e diâmetro de colmo, nos três ciclos de cultivo, independente da lâmina de irrigação aplicada, os resultados serão apresentados em forma de gráficos.

Observa-se que houve um aumento médio gradativo na altura da planta entre o 1º (229,9 mm de precipitação pluviométrica) até o 3º (48,3 mm de precipitação pluviométrica) cortes, com os maiores valores no 3º corte (figura 28), nos tratamentos T4 (8,8mm de lâmina de irrigação) e T5 (9,89mm de lâmina de irrigação) com plantas atingindo alturas de 3,40 e 3,30m (valores pontuais) e valores médios de 3,13 e 3,26m, respectivamente. Esses altos valores foram associados à idade do capim que, sob condições de precipitação natural, tendem, segundo Andrade (1993), se tornar mais altos à medida que aumentam a idade. No experimento, as plantas do 3º corte foram submetidas a menor precipitação pluviométrica (48,3mm), com a substituição da água de chuva pela irrigação, indicando a boa alternativa de utilização da água residuária. Independente da análise de variância os tratamentos que receberam as maiores lâminas foram aqueles que produziram plantas com maior altura uma vez que o conteúdo de nutrientes da água residuária foi elevado (figura 28) e assim disponibilizando-os em quantidades maiores para as plantas.

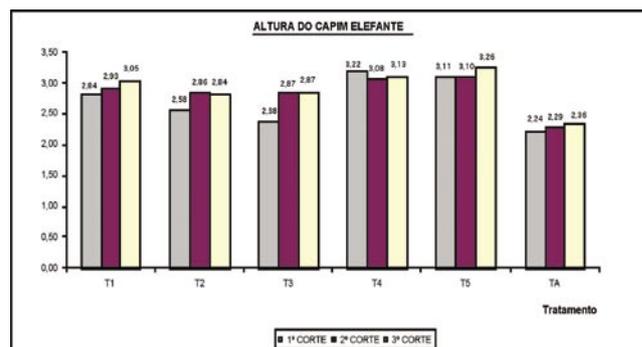


Figura 28 – Variação média da altura do capim em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratadas e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

O modelo quadrático ( $R^2 = 1$ ) foi o que melhor se ajustou à variação da altura com os intervalos de corte, indicando um incremento na altura à medida que aumentou a idade do corte (figura 29).

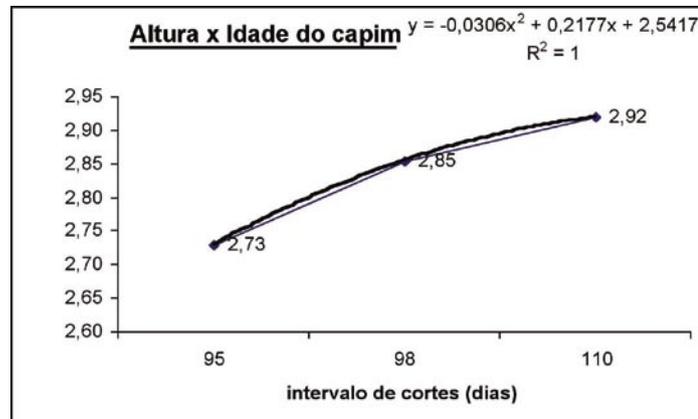


Figura 29 – Modelo quadrático da variação de altura do capim-elefante após três cortes e irrigado com diferentes lâminas de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

Os maiores valores (pontuais) de diâmetro do colmo (figura 30) foram observados no 1º corte, nos tratamentos T1 (1,95 cm) e T5 (1,92 cm) e os menores em TA (1,44 cm) no 3º corte. Houve uma diminuição no diâmetro entre o 1º e o 2º corte e uma estabilização dos valores no 3º corte sendo independentes do tipo de água (abastecimento e residuária) e valor da lâmina aplicada. Essa diminuição do diâmetro do colmo durante o experimento está relacionada ao fato de o capim-elefante ser uma planta cespitosa, ou seja, cresce em touceiras (Primavesi, 1980) e também devido ao aumento do número de perfílios à medida que cortes sucessivos ocorrem ocasionando uma diminuição no diâmetro. Estes resultados estão de acordo com os estudos realizados por Nascimento (1997), que trabalhando com a cultivar Roxo em Areia (PB), verificou uma redução na percentagem de folhas e aumento na percentagem de colmos de cultivares do capim-elefante, com o aumento da idade das plantas.

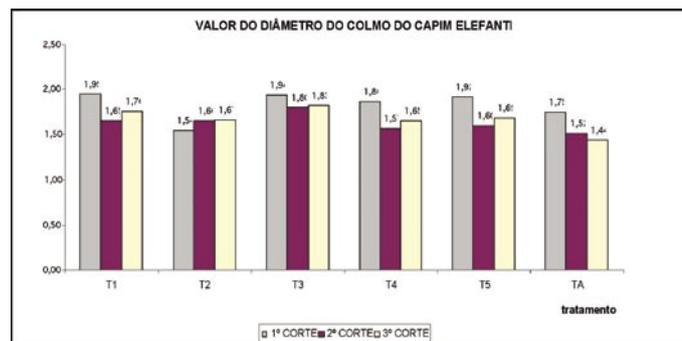


Figura 30 – Variação média do diâmetro de colmo em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratadas e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

### 5.3.5. Aspectos produtivos – matéria verde e seca

A análise de variância não mostrou diferenças significativas (em nível de 5%) em nenhum dos cortes realizados para a matéria seca e verde.

A produtividade de matéria verde expressa em t/ha (figura 31), em todo o período experimental foi maior no 3º corte, onde as plantas se desenvolveram sob condições de menor precipitação pluviométrica e foram irrigadas continuamente durante os 98 dias do ciclo de crescimento. Essa maior produtividade foi independente do tratamento utilizado (lâmina de irrigação) e se destacou em relação ao tratamento que recebeu irrigação com água de abastecimento (TA). Comparando-se às produtividades para o 3º corte nos tratamentos T1 (água residuária) e TA (água de abastecimento) que receberam a mesma lâmina de 7,33mm. Nota-se o maior valor para T1 com 36,7t/ha, um incremento de 28% em relação à TA (26,5t/ha), evidenciando uma das vantagens da utilização da água residuária na irrigação de forrageiras. Comparando-se a produtividade do 3º corte, entre a menor lâmina de irrigação utilizada (T3 – 5,1mm) e a maior lâmina, T5 (9,89mm), observa-se também um aumento de 13%.

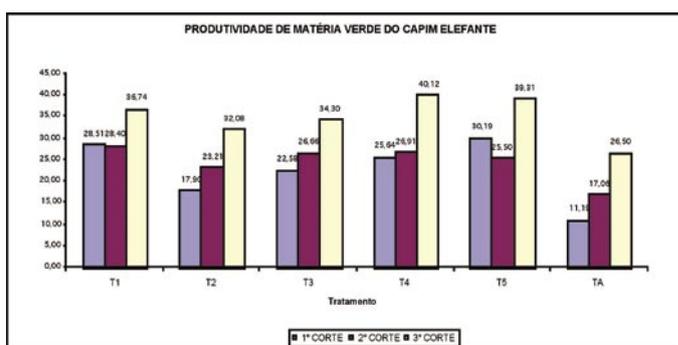


Figura 31 – Variação média da produtividade de matéria verde em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

Os teores de matéria seca foram maiores nas amostras oriundas do 2º corte (figura 32) destacando-se o tratamento TA (água de abastecimento) com o maior valor pontual de 60,28 % e médio de 44,61 %, esse sendo bem próximo valor médio para o tratamento T3 (5,1mm). No 3º corte, período de menor precipitação pluviométrica, os maiores valores médios de MS foram de 26,66% e 23,94% nos tratamentos T5 (9,89mm) e T4 (8,8mm) que corresponderam às maiores lâminas. O terceiro ciclo, com três meses (6/8 – 10/11/2003) de duração se caracterizou como típico de verão (baixa precipitação pluviométrica e elevada insolação) e nele o capim desenvolveu sob condições de irrigação.

O aumento do teor de matéria seca está relacionado com a quantidade de água disponibilizada à planta e com o intervalo de corte do capim (Bleasdale,1977). Neste experimento, essas condições ocorreram no período do 2º corte, onde a precipitação acumulada no período de crescimento foi de 308,1mm com um intervalo de corte de 110 dias. Segundo Andrade e Gomide (1971), o intervalo de corte é fator importante para

a variação da composição química da forragem. As maiores produções de MS com os maiores intervalos entre os cortes, também foram observadas por Gonzalez et al. (1998) e Mendonça et al. (1993) estudando a cultivar Cameroon, sob condições de sequeiro. Segundo Bleasdale (1977), as perdas respiratórias determinadas pelo aumento dos tecidos não fotossintetizantes se igualam com os ganhos fotossintéticos, quando as plantas atingem o máximo do rendimento mas não assimilam mais líquido.

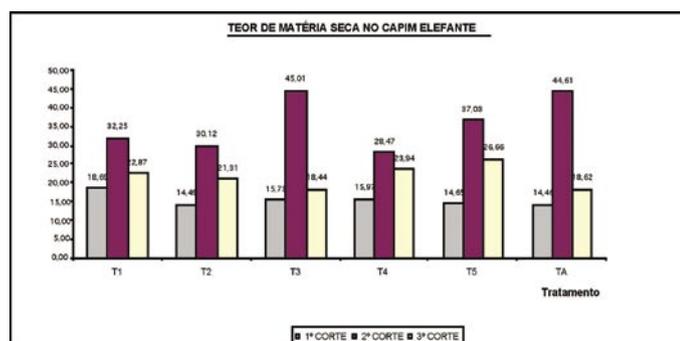


Figura 32 – Variação média do teor de matéria seca em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

### 5.3.6. Aspectos nutritivos – proteína bruta

A análise de variância não mostrou diferença significativa (em nível de 5%) em nenhum dos cortes realizados.

Os teores de proteína bruta (figura 33) foram maiores nas amostras oriundas do 1º corte, com valores médios entre 9,90 % (T3) e 7,91 % (T5). Nos demais cortes os valores diminuíram até 5,83 % (TA). Com o desenvolvimento da planta, elevam-se os teores de matéria seca (MS), mas em contrapartida decaem os teores de proteína bruta. Segundo Passos (1994), a maturação das folhas e diminuição da relação folha/colmo representam uma diminuição do teor de proteína bruta. De fato alguns valores devem ter sido comprometidos pela preparação da amostra para o ensaio de proteína bruta, já que no seu preparo, colmos e folhas foram misturados sem uma proporção exata. Para as amostras do 1º corte, principalmente nas parcelas irrigadas com água de abastecimento, houve uma proporção maior de folhas do que de colmos, o que provavelmente aumentou a relação folha/colmo com conseqüentemente aumento no teor de PB. No entanto os valores obtidos, para os três cortes, sob irrigação de cinco lâminas diferentes de água residuária e uma de água de abastecimento, estão dentro do limite de potencial produtivo de 7%, considerado o mínimo suficiente para atender às necessidades de proteína do animal (Andrade, 1993), com exceção somente para as lâminas T1 e TA no 3º corte que não atingiram esse percentual.

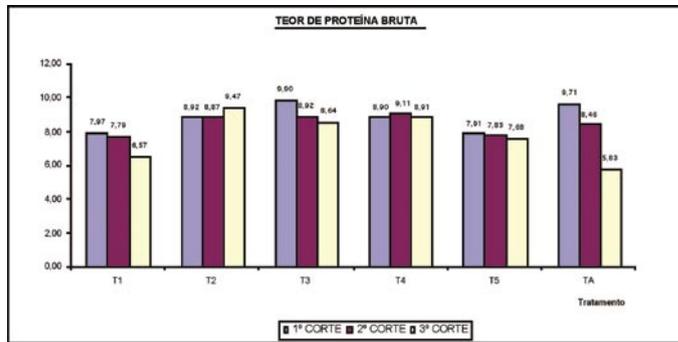


Figura 33 – Variação média do teor de proteína bruta em experimento com capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

Uma equação de modelo quadrático ( $R^2 = 0,9785$ ) foi que melhor se ajustou na descrição da produção de proteína bruta com duração do experimento (303 dias), com uma diminuição do teor de PB à medida que se aumentou a idade da planta (figura 34).

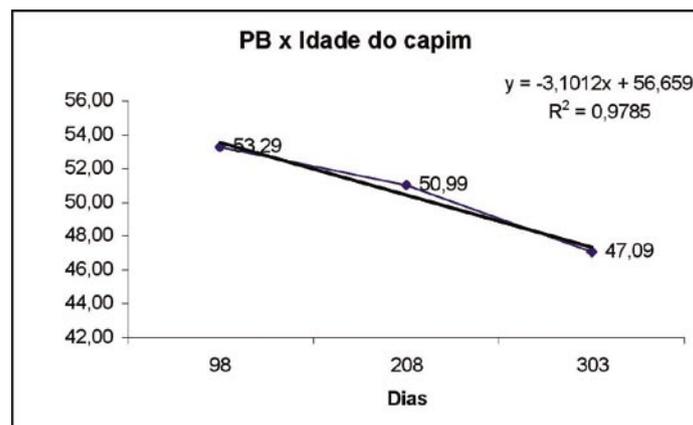


Figura 34 – Modelo quadrático da variação dos teores de proteína bruta do capim elefante após três cortes e irrigado com diferentes lâminas de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB).

### 5.3.7. Aspectos sanitários – coliformes termotolerantes e *E. coli*

A contaminação fecal do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) foi elevada em todos os tratamentos experimentais e cortes (figura 35). Os valores médios oscilaram entre  $8,0 \times 10^4$  NMP/100ml no 3º corte em T1 (lâmina de 7,33mm) e  $1,6 \times 10^7$  NMP/100ml no 1º corte em T4 (8,8mm) e T5 (9,89mm). A contaminação do capim por coliformes termotolerantes no tratamento que recebeu água de abastecimento TA (7,33mm) foi menor que aquelas que receberam água residuária e variou entre  $1,6 \times 10^2$  NMP/100ml no 1º corte até  $4,7 \times 10^3$  NMP/100ml no 2º corte. Apesar de o método de irrigação utilizado (inundação) não ter proporcionado um contato do efluente com a parte aérea da planta nem produzir aerossóis, a maior contaminação observada foi no 1º corte e foi associada a fatores de ordem

climática. Neste 1º ciclo de crescimento do capim houve maior incidência de chuvas que, na região, muitas vezes são acompanhadas por ventos que carregam aerossóis, que contêm bactérias e outros microorganismos, oriundos da turbulência dos ventos na superfície das lagoas. A intensidade e direção dos ventos se encarregaram de dispersar esses aerossóis até a superfície do capim e devido principalmente à proximidade das parcelas experimentais com as unidades de tratamento. É preciso destacar que algumas parcelas dos tratamentos T3, T4, T5 e TA estavam localizadas num bloco bem próximo à lagoa de estabilização, o que pode ter contribuído para uma maior contaminação.

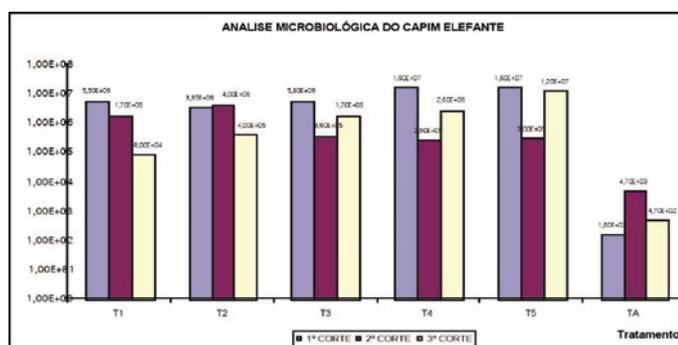


Figura 35 – Variação média dos coliformes termotolerantes em capim-elefante submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária tratada e água de abastecimento (TA), em Campina Grande (PB)

#### 5.4. Utilização de água residuária tratada no cultivo da alface

O período experimental do cultivo da alface, de abril a outubro/2003, se insere no período experimental do capim-elefante (fevereiro a novembro/2003) e dessa forma os dados referentes às precipitações pluviométricas foram comuns aos dois experimentos.

##### 5.4.1. Caracterização química do solo

Nas parcelas denominadas de AB S/E (água de abastecimento sem estrume) houve a diminuição dos teores no solo de sódio (figura 36), cloretos (figura 37) e condutividade elétrica (figura 38) nos três ciclos de cultivo, indicando que a irrigação com água de baixo conteúdo de sais em solos com boa capacidade de drenagem foram capazes de reduzir os íons sódio e cloretos com reflexo na condutividade elétrica. Para os tratamentos AR S/E e AR C/E, houve um aumento dos valores de sódio, cloretos e condutividade elétrica do 2º para o 3º ciclos com subsequente diminuição, no 4º ciclo evidenciando novamente a inter-relação entre esses parâmetros. É preciso destacar que nas parcelas irrigadas com água residuária, particularmente durante o 3º ciclo, houve um aumento dos valores desses parâmetros alertando para possíveis reflexos negativos no solo (exemplo: salinização) com o uso contínuo de águas com elevado conteúdo salino. A tabela 16 mostra os resultados da análise de variância para as variáveis que compõe a salinidade do solo.

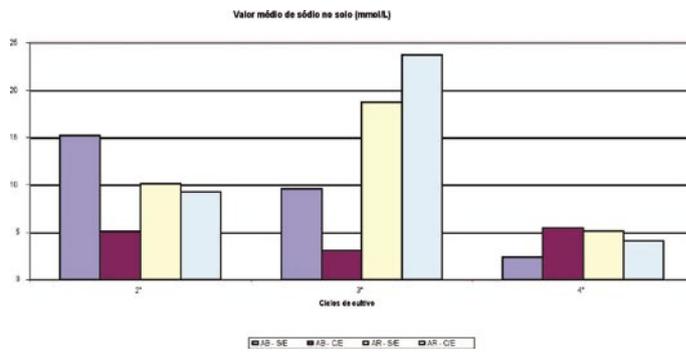


Figura 36 – Valores médios do sódio no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

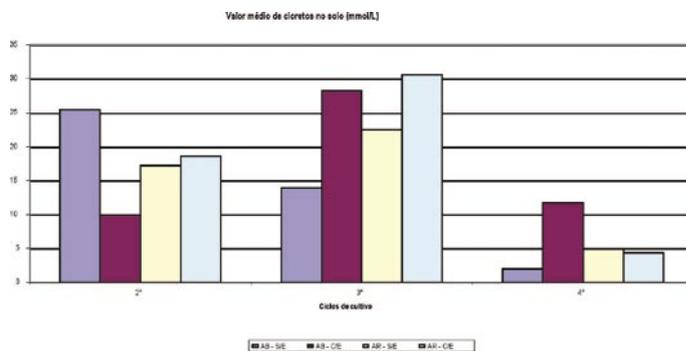


Figura 37 – Valores médios de cloretos no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

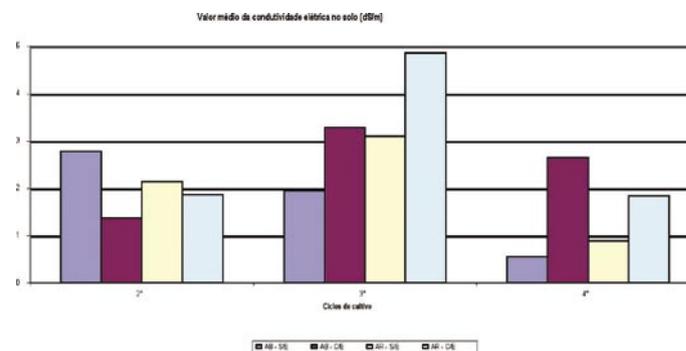


Figura 38 – Valores médios da condutividade elétrica no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

Tabela 16 – Resumo da análise de variância para salinidade do solo em função do tipo de água de irrigação (abastecimento sem cloro – residual), presença ou não de adubação (estrume) e ciclos de plantio (época) em experimento localizado em Campina Grande (PB)

Causa de variação	GL	Quadro médio salinidade/micronutrientes											
		Ca <sup>1</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na <sup>2</sup>	K <sup>2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>2</sup>	Cl <sup>1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>1</sup>	pH	CE <sup>1</sup>	RAS <sup>2</sup>	PSI <sup>2</sup>
Tipo de água (TA)	1	0,12ns	1,33*	7,90*	2,26ns	0,01ns	0,00ns	1,52ns	0,01ns	0,03ns	0,34ns	1,89*	2,32ns
Estrume (E)	1	0,22ns	0,01ns	2,40ns	1,03ns	0,68**	0,54ns	0,31ns	1,75**	0,16ns	0,04ns	1,17ns	1,21ns
Época (T)	1	1,87**	1,25*	1,52ns	17,58**	1,03**	5,44**	3,39ns	1,25**	0,01ns	1,09**	0,02ns	0,14ns
TA x E	1	0,03ns	0,13ns	4,57ns	0,05ns	0,03ns	0,54ns	0,68ns	0,00ns	0,07ns	0,07ns	1,73ns	1,73ns
TA x T	1	0,00ns	0,20ns	8,26**	0,83ns	0,16ns	0,51ns	0,57ns	0,01ns	0,00ns	0,29ns	2,94*	2,78*
E x T	1	0,06ns	3,12**	0,12ns	8,63**	2,93**	17,24**	7,85**	0,13ns	2,36**	1,04**	0,03ns	0,00ns
TA x E x T	1	0,07ns	0,06ns	0,00ns	0,12ns	0,31*	0,24ns	3,65ns	0,08ns	0,11ns	0,06ns	0,03ns	0,18ns
Resíduo	24	0,17	0,25	1,01	1,01	0,06	0,64	0,82	0,03	0,07	0,09	0,33	0,55
CV	(%)	18,10	19,99	29,90	46,79	16,29	29,00	20,49	18,57	3,34	19,19	24,02	29,25

Significativo a 0,05 (\*) e a 0,01 (\*\*) de probabilidade; ns não significativo.

<sup>1</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x}$ .

Nos quatro ciclos de cultivo, as parcelas experimentais que receberam adubação orgânica (figura 39) apresentaram maiores teores de matéria orgânica, exceto para o tratamento AB S/E do 2º ciclo, provavelmente pela incorporação ao solo dos restos culturais oriundos do 1º ciclo. A matéria orgânica presente no solo após o término do 3º ciclo foi superior aos demais ciclos de cultivo para os tratamentos de AB C/E, AR S/E e AR C/E com destaque para este último tratamento, cujo valor foi acima de 25g/dm<sup>3</sup>, sugerindo a incorporação de matéria orgânica ao solo via água residuária. No último ciclo de cultivo houve uma diminuição do teor de matéria orgânica para todos os tratamentos, sugerindo um esgotamento do solo.

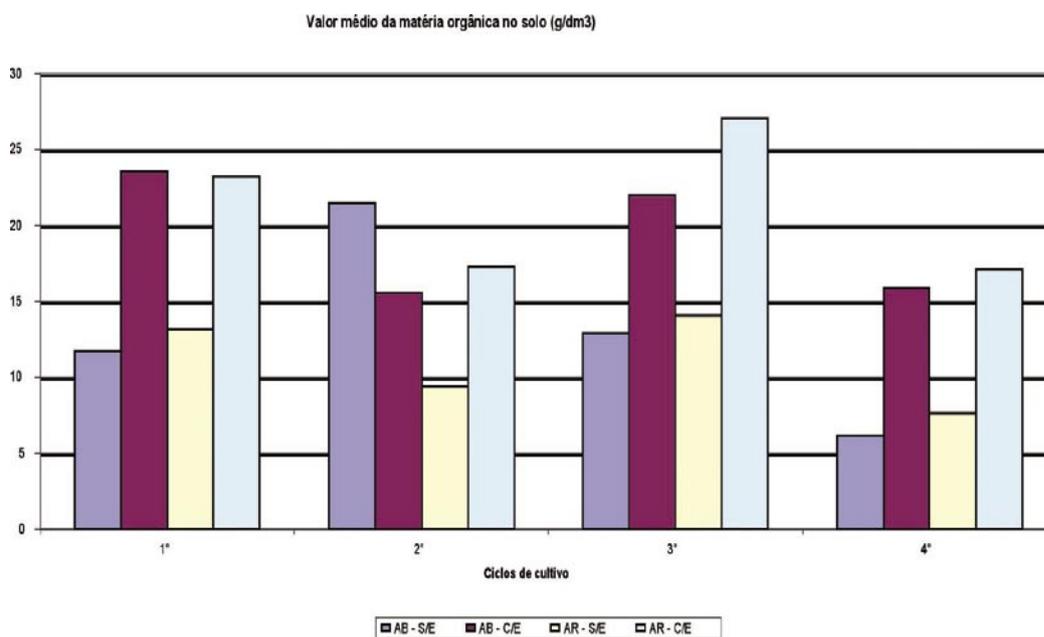


Figura 39 – Valores médios da matéria orgânica no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

#### 5.4.2. Caracterização parasitológica do solo

Os ovos de helmintos estiveram presentes em todos os tratamentos avaliados exceto no 2º ciclo para as parcelas irrigadas com água de abastecimento sem adubação orgânica (figura 40). A presença de ovos desses nematóides intestinais nos tratamentos AB C/E nos dois ciclos (35 e 25 ovos/100g S.T. respectivamente) e no AB S/E no 3º ciclo (40 ovos/100g S.T.), foi associada a provável presença desses microorganismos no solo bem antes da instalação das parcelas experimentais. Nos tratamentos que receberam irrigação com água residuária, a presença de ovos de helmintos nos dois ciclos de cultivo foi associada ao tipo de água de irrigação utilizada. O monitoramento da qualidade parasitológica do efluente final utilizado (tabela 15), indicou ausência de ovos de helmintos, mas essa ausência deve ser analisada com cautela, pois poderia estar relacionada ao procedimento laboratorial de quantificação empregado que então necessita de aperfeiçoamento.

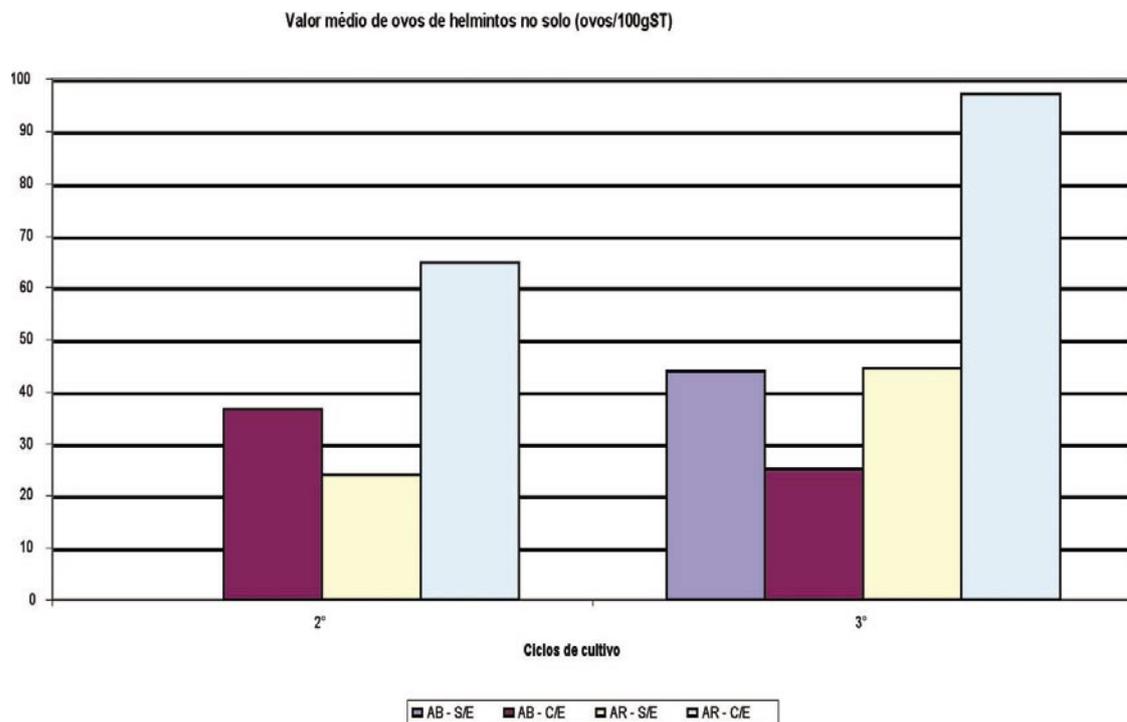


Figura 40 – Valores médios de ovos de helmintos no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

### 5.4.3. Caracterização microbiológica do solo

Observou-se uma tendência de aumento dos CF no solo (figura 41) ao longo dos três ciclos de cultivo com a seqüência de contaminação das parcelas: AB S/E < AR S/E < AB C/E < AR C/E, em função do tipo de água de irrigação e a presença/ausência de adubação animal. A elevada contaminação (103 e 104NMP/g de solo) das parcelas que receberam água de abastecimento e sem adubação animal foi relacionada à contaminação pré-existente no solo antes da delimitação da área experimental. Nas parcelas que receberam o estrume bovino e foram irrigados com água de abastecimento, os aumentos da contaminação fecal, entre 103 e 104NMP/g de solo (1º e 2º ciclos) e 105NMPg de solo (3º ciclo) foi associado ao procedimento de nova adubação das parcelas a cada início de ciclo de cultivo. A utilização da água residuária nas parcelas sem adubação (AR S/E), não alterou o número médio de CTerm. no solo, que se manteve em 103NMP/g de solo. A maior contaminação do solo foi observada no tratamento AR C/E e nos três ciclos de cultivo com valores médios próximos a 106NMP/g de solo (3º ciclo), indicando que solos úmidos e na presença de matéria orgânica podem favorecer a sobrevivência desses indicadores de contaminação fecal.

Nos 1º e 2º ciclos de cultivo ocorrido durante um período de muitas chuvas (89,1 e 132,2mm respectivamente), os valores médios de *E. coli* (figura 42) estiveram próximos a 102NMP/g de solo independente do tratamento experimental avaliado. No terceiro ciclo, transcorrido num período com menor precipitação pluviométrica (40,7mm) e maior irrigação com os dois tipos de água, os valores foram muito variados, desde uma uniformidade entre os tratamentos irrigados com água de abastecimento na presença ou ausência de estrume bovino em que os valores que se aproximaram a 102NMP/g de solo para o tratamento AR S/E até quase 104NMP/g de solo para o tratamento que recebeu água residuária e adubação orgânica (AR C/E). Essa variabilidade na contaminação foi associada às condições climáticas, pois, nos períodos chuvosos, a irrigação é suspensa, mas a umidade excessiva nos solos poderia ter propiciado condições para que houvesse uma mobilidade, através dos interstícios solo, desses microorganismos, porém nas épocas de baixa precipitação pluviométrica a contaminação seria oriunda exclusivamente da água de irrigação.

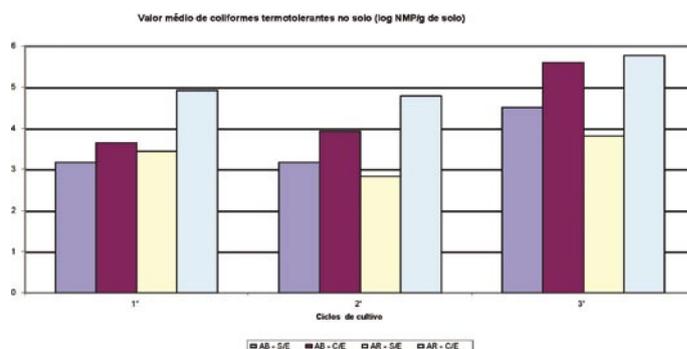


Figura 41 – Valores médios de coliformes termotolerantes no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

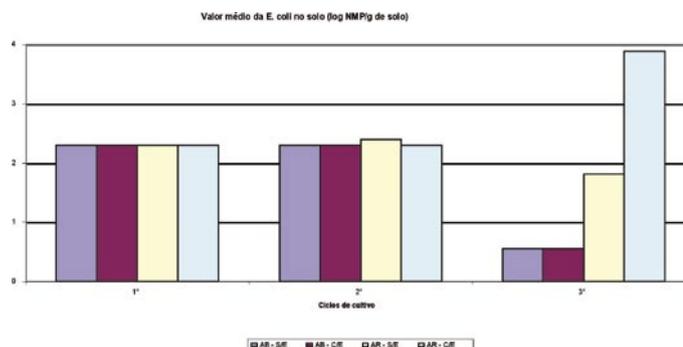


Figura 42 – Valores médios de *E. coli* no solo de parcelas experimentais cultivadas com alface (*Lactuca sativa*), adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

#### 5.4.4. Caracterização microbiológica da alface

Nos três ciclos de cultivo da hortaliça, o número médio de CF sempre foi elevado (figura 43), com exceção nos 2º e 3º ciclos no tratamento AB C/E e independente do tratamento experimental com uma seqüência de contaminação: AB S/E < AB C/E < AR S/E < AR C/E. Para os tratamentos que foram irrigados com água residuária e nos ciclos 1 e 3 os valores médios mais elevados estiveram próximos a 10<sup>4</sup>NMP/g. No 2º ciclo a contaminação seguiu a mesma seqüência porém com um menor valor médio (próximo a 10<sup>3</sup> NMP/g) e relacionado com a elevada precipitação pluviométrica do período do experimento (entre julho/agosto), que foi de 132,2mm.

O baixo valor de *E. coli* no 2º ciclo (figura 44) foi associado à elevada precipitação pluviométrica ocorrida no período experimental (132,2mm – julho-agosto/2003). No ciclo subsequente o número médio foi elevado (entre 1.500 e 2.500*E.coli*/g) para os tratamentos que receberam irrigação com água residuária. Sabe-se que alfaces de folha rugosa propiciam condições favoráveis à sobrevivência de microorganismos e, neste experimento o método de irrigação adotado (aspersão) pode ter propiciado ambiente adequado a sua permanência na superfície da hortaliça.

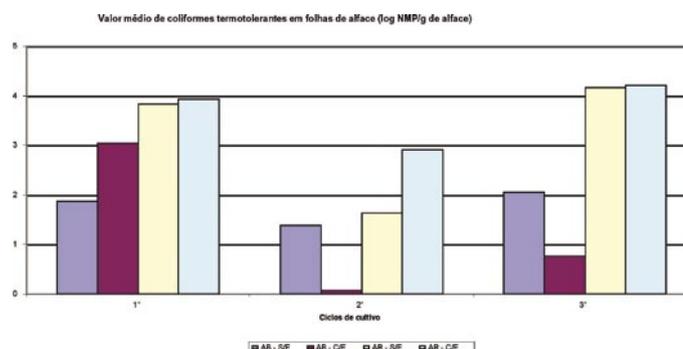


Figura 43 – Valores médios de coliformes termotolerantes em folhas de alface (*Lactuca sativa*), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

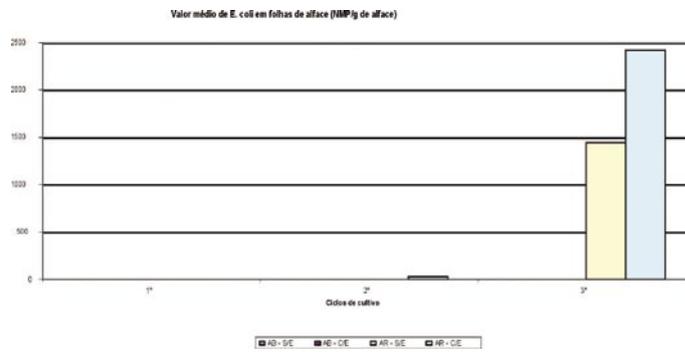


Figura 44 – Valores médios de *E. coli* em folhas de alface (*Lactuca sativa*), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

#### 5.4.5. Caracterização parasitológica da alface

Os resultados mostram que nos 2º e 3º ciclos, houve um aumento do número de helmintos nas folhas das alfaces (figura 45) com exceção do tratamento irrigado com água de abastecimento e sem estrume (AB S/E). A presença de ovos de helmintos nas parcelas irrigadas com água de abastecimento, porém adubadas com estrume bovino (AB C/E), indica que estes nematóides intestinais podem ter chegado até as parcelas experimentais via estrume e terem sido depositados na hortaliça via irrigação por aspersão, pelos respingos da água que ao cair no solo pode levar os ovos até as folhas das alfaces. Apesar de não terem sido detectados ovos de helmintos na água residuária utilizada (efluente final da ETE – tabela 15), sua presença nas folhas das hortaliças nos tratamentos irrigados com água residuária foi relacionada com este tipo de água de irrigação. Estes resultados chamam atenção à necessidade do aperfeiçoamento da metodologia utilizada para a quantificação dos ovos de helmintos em efluentes de ETEs para que a ausência em amostras de efluentes reflita necessariamente a ausência total na água de irrigação.

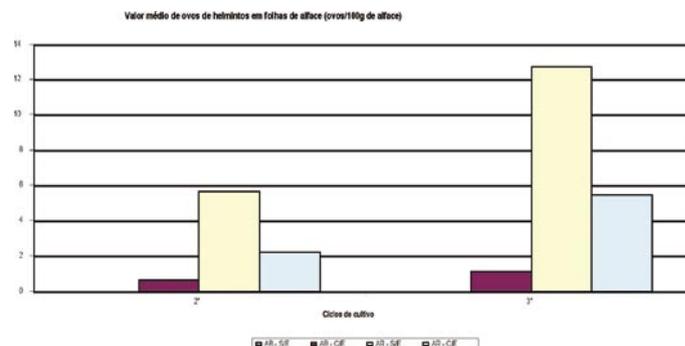


Figura 45 – Valores médios de ovos de helmintos em folhas de alface (*Lactuca sativa*), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

#### 5.4.6. Análise de variância – variáveis microbiológicas

As tabelas 17 e 18 mostram os resultados da análise de variância para as variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, *E. coli* e ovos de helmintos), respectivamente para o 2º e 3º ciclos de cultivo da alface. Para o segundo ciclo verificou-se que nenhuma das fontes de variação exerceu significância sobre os valores das variáveis microbiológicas avaliadas. No terceiro ciclo analisado (tabela 18), houve significância para o tipo de água utilizado, haja vista que a irrigação com água residuária tratada transferiu para a hortaliça parte dos microorganismos nela presentes. Porém, chama a atenção os resultados significativos dos ovos de helmintos para o tipo de água utilizada na irrigação, a presença de estrume bovino e a interação entre essas duas variáveis, ressaltando para o fato da importância do monitoramento nas hortaliças dos ovos de helmintos, mesmo com sua ausência na água residuária utilizada na irrigação.

Tabela 17 – Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* – EC e ovos de helmintos) em folhas de alface para o 2º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		CF <sup>1</sup>	EC <sup>1</sup>	HEL <sup>1</sup>
Tipo de água (TA)	1	9,47ns	0,87ns	1,21ns
Estrume (E)	1	0,00ns	0,94ns	0,07ns
TA x E	1	6,69ns	0,32ns	0,33ns
Resíduo	12	3,053	0,98	0,42
CV	(%)	115,81	72,75	132,95

Significativo a 0,05 (\*) e a 0,01 (\*\*) de probabilidade; ns não significativo.

<sup>1</sup> Dados transformados em LOG.

Tabela 18 – Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* – EC e ovos de helmintos) em folhas de alface para o 3º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		CF <sup>1</sup>	EC <sup>1</sup>	HEL
Tipo de água (TA)	1	31,02**	85,34**	0,03**
Estrume (E)	1	1,55ns	0,56ns	0,00*
TA x E	1	1,82ns	0,06ns	0,01**
Resíduo	12	1,66	0,31	0,00
CV	(%)	45,97	64,81	50,30

Significativo a 0,05 (\*) e a 0,01 (\*\*) de probabilidade; ns não significativo.

<sup>1</sup> Dados transformados em LOG.

As tabelas 19 e 20 mostram o resultado da análise de variância para as variáveis microbiológicas monitoradas no solo durante o 2º e 3º ciclo de cultivo. No 2º ciclo de cultivo (tabela 19) houve significância somente para os coliformes termotolerantes quando se analisa a presença ou ausência do estrume, indicando que a adubação orgânica adiciona esses microorganismos indicadores no solo.

Tabela 19 – Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* – EC e ovos de helmintos) no solo para o 2º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		CF <sup>1</sup>	EC <sup>1</sup>	HEL
Tipo de água (TA)	1	0,28ns	0,01ns	1,85ns
Estrume (E)	1	7,38*	0,01ns	2,11ns
TA x E	1	1,43ns	0,01ns	0,14ns
Resíduo	12	1,32	0,01	0,77
CV	(%)	31,18	4,28	143,71

Significativo a 0,05 (\*) e a 0,01 (\*\*) de probabilidade; ns não significativo.

<sup>1</sup> Dados transformados em LOG.

No 3º ciclo (tabela 20), novamente a presença/ausência de adubação orgânica (estrupe bovino), influenciou na variável coliformes termotolerantes. Para a variável *E. coli* houve significância para o tipo de água utilizada, presença ou não de adubação orgânica e houve significância na interação dessas duas fontes de variação. Esses resultados indicam que tanto a água residuária como a adubação orgânica são fontes significativas de contaminação do solo por parte desse indicador de contaminação fecal.

Tabela 20 – Resumo da análise de variância referente às variáveis microbiológicas (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* – EC e ovos de helmintos) no solo para o 3º ciclo de cultivo, em experimento realizado em Campina Grande (PB)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio		
		CF <sup>1</sup>	EC <sup>1</sup>	HEL <sup>1</sup>
Tipo de água (TA)	1	0,28ns	21,25**	1,13ns
Estrupe (E)	1	9,25**	4,33*	0,66ns
TA x E	1	0,75ns	4,33*	1,11ns
Resíduo	12	0,44	0,84	0,89
CV	(%)	31,18	53,90	80,37

Significativo a 0,05 (\*) e a 0,01 (\*\*) de probabilidade; ns não significativo.

<sup>1</sup> Dados transformados em LOG.

#### 5.4.7. Produtividade

Houve um decréscimo de produtividade ao longo dos três ciclos de cultivo para todos os tratamentos experimentais (figura 46). Porém, dentro de cada ciclo destacaram-se as elevadas produtividades, particularmente no 2º ciclo (+/- 2,5kg/m<sup>2</sup>- matéria úmida) dos tratamentos que receberam estrupe bovino independente do tipo de água de irrigação. Produtividade semelhante (2,24kg/m<sup>2</sup>) foi obtida por Araújo (1999) no cultivo de alface em colunas de solo e irrigadas somente com água superficial poluída. Nos 3º e 4º ciclos nota-se que a produtividade foi ligeiramente superior no tratamento que foi irrigado com água residuária (AR), com 1,6 e 1,0kg/m<sup>2</sup>- matéria úmida respectivamente. As elevadas produtividades foram relacionadas à presença do estrupe bovino, que forneceu a matéria orgânica que, ao se decompor via atividade microbiana presente no solo, disponibilizou os nutrientes necessários ao crescimento da hortaliça. O conteúdo dos nutrientes inorgânicos, da água residuária não foi por si só suficiente para suprir as necessidades nutricionais da alface sendo, portanto mera fornecedora de água.

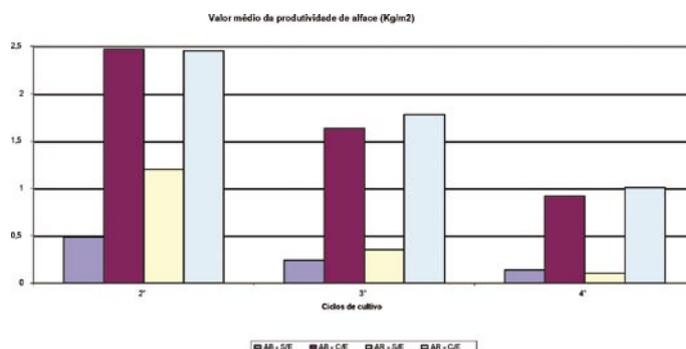


Figura 46 – Valores médios da produtividade de alface (*Lactuca sativa*), nas parcelas experimentais adubadas (C/E) ou não (S/E) com estrume bovino e irrigadas com água residuária tratada (AR) e de abastecimento (AB), em experimento localizado em Campina Grande (PB)

## 6. Conclusões

### 6.1. Utilização de lodos de esgoto no cultivo de algodão e milho em casa de vegetação

- A utilização agrícola do lodo de esgoto é viável, mediante monitoramento das condições sanitárias principalmente no que diz respeito à viabilidade dos ovos de helmintos e à 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;
- Com relação aos processos de desinfecção do lodo – a calagem a 50% dos sólidos totais e secagem ao ar, a calagem eliminou totalmente os microorganismos indicadores de contaminação fecal;
- A dose de 140kgN/ha de lodo seco proporcionou a maior redução de coliformes totais (99,95%) e fecais (999,99%). Para o lodo pastoso (calado), a redução obtida para os coliformes fecais (99,99%) foi alcançada para o tratamento que recebeu 280gN/ha;
- Independente da consistência do lodo utilizada houve um aumento da concentração de microorganismos indicadores de contaminação fecal no solo com a elevação das doses de nitrogênio empregadas;
- O líquido percolado apresentou alta salinidade, com aumento do íon cloreto e sódio o que poderia elevar os riscos de salinização do solo e provavelmente deteriorar as águas subterrâneas;
- Quanto às variáveis determinadas no solo, no final dos experimentos, constatou-se para a maioria delas valores maiores nos tratamentos que receberam lodo seco;

- A incorporação do lodo calado (seco), promoveu aumento do pH e maior teor de potássio no solo, enquanto que a incorporação do lodo seco disponibilizou maior teor de nitrogênio, potássio, sódio, alumínio e matéria orgânica;
- Na cultura do algodão herbáceo BRS verde (experimento I), a incorporação do lodo seco ao solo, em cada dose estudada, promoveu um aumento no crescimento em altura da planta e em seu diâmetro caulinar, aumento da área foliar (por folha e por planta), da fitomassa (radicular e aérea) e das variáveis de produção;
- A produção máxima de 12 capulhos/planta (243kgN/ha), o rendimento (pluma + semente) de 47g/planta (300kgN/ha), o rendimento em pluma 12g/planta (231kgN/ha), e a fitomassa aérea de 108g/planta (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).

## 6.2. Utilização de água residuária tratada no cultivo de algodão herbáceo

- A irrigação com água residuária, média de 670mm (6.700m<sup>3</sup>/ha ou 670L/m<sup>2</sup>), embora contivesse um teor de fósforo elevado, não provocou aumento significativo desse elemento no solo; no entanto elevou em 58% o teor de potássio trocável no solo;
- A irrigação com água residuária elevou, em mais de 70%, o teor de sódio trocável no solo, porém, ainda sem causar problemas para as plantas, mesmo as mais sensíveis, o que não significa que, ao longo do tempo, não se tenha que monitorar o solo e as modificações que possam ocorrer com o uso de água residuária na irrigação;
- As variáveis: acidez potencial, capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação de bases do solo (V), não foram afetadas pela água residuária, mas foram pelas doses de adubação nitrogenada, tendo a saturação de bases seu valor reduzido com o aumento das doses de nitrogênio;
- No extrato de saturação do solo, a água residuária influenciou as variáveis: sódio trocável, razão de adsorção de sódio (RAS), percentagem de sódio intercambiável (PSI), com aumentos significativos; enquanto para a condutividade elétrica, teor de sulfato, teor de cloreto e outros cátions do solo não foram constatados efeitos interativos entre os fatores estudados;
- Os nutrientes presentes na água residuária promoveram maior crescimento das plantas em relação à água de abastecimento até dose de 90kgN/ha, com reversão na dose de 180kgN/ha para a água de abastecimento;

- A fitomassa radicular e aérea não foi afetada pelos tratamentos testados, tipos de água e doses de nitrogênio;
- A resposta espectral do algodoeiro foi alterada conforme as variações na quantidade de biomassa do dossel, causada pela água residuária que é rica em nutrientes, utilizados pelas plantas. Os aumentos na quantidade de biomassa diminuíram a reflectância na porção visível e aumentaram a reflectância na porção infravermelha do espectro nos tratamentos irrigados com água residuária;
- Nas características físicas da fibra, a água residuária influenciou somente as variáveis comprimento da fibra, alongamento, finura e fiabilidade, mas não no ponto de afetar a qualidade global da fibra;
- O algodão produzido apresentou elevado índice de reflectância, com valor médio de 78%, sendo caracterizado como de elevada qualidade intrínseca, segundo os padrões de exigência da indústria têxtil internacional;
- Nos componentes de produção, a água residuária aumentou o peso de sementes com diminuição da percentagem de fibra, que foi maior com o uso da água de abastecimento, sendo este aumento dependente das doses de nitrogênio;
- A produção foi influenciada pela água residuária, com o algodão herbáceo atingindo produtividade elevada, com valores superiores a 3.300kg/ha de algodão em caroço, que corresponde a mais de 1.200kg/ha de fibra, valor bem acima da média mundial da mais recente safra computada de 2001/2002 e entre as cinco maiores do mundo;
- A água residuária foi capaz de substituir a adubação nitrogenada mineral em 180kgN/ha com relação à testemunha absoluta (o solo sem adubação nitrogenada e irrigação com água de abastecimento);
- Sob o aspecto sanitário, não foi possível avaliar os riscos da sobrevivência de microorganismos patogênicos no solo, visto que se tratava de um solo com contaminação previamente elevada.

### 6.3. Utilização de água residuária tratada no cultivo do capim-elefante

- a água residuária utilizada, com 106UFC/100ml e ausência de ovos de helmintos, atendeu às recomendações da OMS para irrigação de culturas classe B, que não impõem restrições para coliformes termotolerantes porém limita para <1 ovo/l a contaminação parasitológica;
- o esgoto tratado continha elevados teores de sódio, cloretos e bicarbonatos, com reflexos na condutividade elétrica e, sua utilização contínua pode implicar salinização do solo;
- o solo era muito contaminado (105NMP/g de solo para coliformes termotolerantes e 103NMP/100L para *E. coli*) antes do início do experimento que, foi associado à

proximidade da área de plantio com as lagoas de estabilização; essa contaminação elevou-se em duas unidades logarítmicas no fim do experimento para ambos os indicadores;

- houve um aumento da altura do capim entre o 1º e o 3º ciclos de cultivo, com plantas mais altas nos tratamentos que receberam as maiores lâminas de irrigação: 3,13m (T4 = 8,8mm) e 3,26m (T5 = 9,89mm);
- o diâmetro do colmo diminuiu entre o 1º e o 3º ciclos de cultivo e foi relacionado com o crescimento em touceira do capim-elefante;
- a matéria verde aumentou entre o 1º e 3º ciclo de cultivo com maiores valores no 3º corte e nos tratamentos que receberam as maiores lâminas de irrigação com água residuária: 40,12 t/ha (T4 = 8,8mm) e 36,31 t/ha (T5 = 9,89mm);
- os teores de proteína bruta foram maiores nas amostras do 1º corte (9,9% e 7,91%) com uma diminuição até 5,83% no 3º corte; no entanto os valores obtidos nos três cortes estiveram dentro do limite de 7%, percentual considerado suficiente para atender às necessidades de proteínas do animal.

#### **6.4. Utilização de água residuária tratada no cultivo da alface**

- houve aumento dos teores de sódio e cloretos nos solos, com reflexos na condutividade elétrica, evidenciando que o uso de água residuária adiciona sais no solo, porém não incrementou os teores de matéria orgânica;
- apesar da ausência dos ovos de helmintos no efluente final da ETE, estes foram encontrados no solo e nas folhas da hortaliça, alertando para a necessidade de aperfeiçoamento das técnicas de quantificação desses nematóides intestinais em amostras de água de irrigação, particularmente residuárias;
- o solo das parcelas experimentais era muito contaminado pelos indicadores de contaminação fecal mesmo antes da instalação do experimento e esta aumentou ao longo dos ciclos de cultivo na seqüência: AB S/E < AR S/E < AB C/E < AR C/E, com o uso de adubação orgânica e água residuária;
- alfaces oriundas das parcelas irrigadas com água residuária (106UFC/100ml de coliformes termotolerantes) apresentaram uma contaminação de até 104NMP/g de alface úmida;
- a produtividade foi elevada, entre 1,0 e 2,5kg/m<sup>2</sup> e associada à presença do adubo orgânico (estrupe bovino); a água residuária por si só não foi suficiente para suprir as necessidades nutricionais da alface.

## 7. Recomendações para a utilização dos resultados pela Funasa e indicativo de custos

- o uso de esgoto doméstico em atividades agrícolas é viável mas só poderá ser feito com esgoto tratado e, de preferência, aquele produzido por métodos eficientes na redução de microorganismos de contaminação fecal (coliformes termotolerantes, ovos de helmintos), como, por exemplo, lagoas de estabilização em série (anaeróbia – facultativa – maturação) e reatores anaeróbios tipo Uasb seguidos de lagoas de estabilização ou polimento;
- o lodo de esgoto é um bom substituto para fertilizantes inorgânicos particularmente o nitrogenado; porém, antes de ser usado em agricultura, deve, obrigatoriamente, passar por processo de higienização para reduzir o conteúdo de bactérias de contaminação fecal e eliminação de ovos viáveis de helmintos; a secagem ao sol foi o método mais eficiente sendo indicado para aquelas regiões com elevada insolação;
- a quantidade de água a ser aplicada, seja qual for o solo a ser utilizado, o método de irrigação escolhido e planta a ser cultivada, deve ser calculada corretamente para que não ocorra a lixiviação e a possível contaminação do lençol freático;
- qualquer recomendação no uso de esgoto e lodo tratado na atividade agrícola, o solo deverá ser analisado antes de iniciar os trabalhos e durante a atividade agrícola para monitorar possíveis danos à sua qualidade (por exemplo: salinização);
- deve haver um monitoramento sistemático da qualidade física, química, bacteriológica e parasitológica da água residuária tratada e do lodo de esgoto a ser utilizado;
- há necessidade de monitorar a qualidade microbiológica e parasitológica das culturas escolhidas para garantir que os padrões da Vigilância Sanitária sejam atingidos (Ministério da Saúde - Portaria nº 451/1997);
- os trabalhadores envolvidos devem ser orientados sobre os riscos dessa atividade para a saúde;
- há necessidade de atentar para a contaminação parasitológica do solo e da cultura no caso de hortaliças, mesmo que as análises parasitológicas no efluente utilizado tenham mostrado ausência de ovos de parasitos;
- a irrigação por aspersão deve ser evitada, devido à formação de aerossóis.

É preciso frisar que a implementação prática de projetos que visem à utilização de águas residuárias tratadas e lodos oriundos das estações de tratamento de esgotos (ETEs), está sujeita a legislações ambientais vigentes no país, no estado, na região, etc. Caso não existam, discussões devem ser iniciadas com especialistas nas diversas áreas envolvidas com a saúde, a engenharia civil, a sociológica, para citar algumas. De acordo com Ivanildo Hespanhol, professor de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da USP e presidente do Centro Internacional de Referência em Reuso de Água (Cirra), as discussões sobre o

reuso estão em andamento e uma resolução para o estado de São Paulo será em breve regulamentada, indicando cinco tipos de reuso: agrícola, industrial, usos urbanos não potáveis, aquicultura e recarga de aquíferos.

Segundo Leon & Cavallini (1996), do Centro Pan-americano de Engenharia Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis) para a consolidação do bom manejo das águas residuárias é necessário conjugar muitos fatores tais como:

- “normas e regulamentos completos e atualizados, sustentados em critérios técnicos;
- “instituições sólidas com uma organização eficiente, pessoal qualificado, recursos suficientes, responsabilidades claras e definidas e que realizem ações coordenadas com os restos dos setores interessados;
- “tecnologias apropriadas e confiáveis que assegurem qualidade dos efluentes a serem reutilizados;
- “programas de monitoramento e controle dos sistemas de tratamento, com métodos padronizados e amostragens contínuas, que permitam certificar a qualidade dos produtos e proteger a saúde dos trabalhadores;
- “pressupostos suficientes para instituições responsáveis da operação e vigilância dos sistemas de tratamento e uso”.

Com relação à viabilidade econômica de projetos de reuso, estes devem levar em consideração desde o projeto de tratamento da água residuária a ser considerado já visando o reuso do efluente e isso implica em decidir que método de tratamento do esgoto e do lodo será adotado (por exemplo lagoas de estabilização, Uasb seguido de lagoas de polimento). Também devem ser contabilizados os custos do terreno onde a atividade agrícola será desenvolvida, o transporte da água residuária tratada desde o local onde foi gerado até o local de tratamento e uso e finalmente a rentabilidade dos cultivos escolhidos.

## 8. Referências bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. New York: APHA, 1998.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19<sup>a</sup> ed. Washington D.C.: APHA, 1995.

AMORIM NETO, M. da S.; BELTRÃO, N. E. de M. **Determinações da época de irrigação em algodoeiro herbáceo por via climatológica**. Campina Grande: Embrapa, 1992. (Embrapa CNPA, Comunicado Técnico, n. 34).

AMORIM NETO, M. da S.; BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, A. E. de; GOMES, D. C. **Definição de época de plantio dos algodoeiros arbóreo e herbáceo para o nordeste brasileiro**. Campina Grande: Embrapa, 1998. (Embrapa CNPA, Comunicado Técnico, n. 77).

ANDRADE, I. F. Efeito da época de vedação na produção e valor nutritivo do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Shum) cv Mineirão. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 1, p. 53-63, 1993.

ANDRADE, N. L. S. de. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, n. 4, 1996.

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** (Sanare), v. 13, n. 13, p. 40-50, 2000.

ANUÁRIO Brasileiro de Algodão 2002. Santa Cruz do Sul: Gazete do Sul, 2002.

ARAUJO, A. L. **Desempenho de colunas experimentais de solo irrigadas com água superficial poluída e cultivadas com alfaces (*Lactuca sativa* L.)**. 1999. 130f. Dissertação (Mestrado) – Campina Grande, UFPb, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13895**: construção de poços de monitoramento e amostragens. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A Qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPb, 1991.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

BASTOS, R. K. X. **Bacteriological aspects of drip and furrow irrigation with treated wastewater**. 1992. Tese (Doutorado). University of Leeds, Leeds, 1992.

BASTOS, R. K. X. Fertirrigação com águas residuárias, In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**. Citrus. Flores. Hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 279-291.

BELTRÃO, N. E. de M.(Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Embrapa Algodão. Brasília: Embrapa, 1999.

BELTRÃO, N. E. de M.; ALMEIDA, O. A.; PEREIRA, J. R. de; FIDELIS FILHO, J. Metodologia para estimativa do crescimento do fruto e do volume absoluto e relativo da planta do algodoeiro. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 5, n. 1, p. 283-289, 2001.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **Defasagem entre a produtividade real e potencial do algodoeiro herbáceo**: limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais. Campina Grande: Embrapa, 1993. (Embrapa CNPA, Comunicado Técnico, n. 39).

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 Ciências do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 187-192, 1989.

BEZERRA, J. R. C.; AMORIM NETO, M. da S.; SILVA e LUZ, M. J. da; BARRETO, A. N.; SILVA, L. C. Irrigação de algodoeiro herbáceo. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa, 1999. p. 619-682.

BLANCO, E.; CARDENAS, C.; ISEA, D.; GRANADILLO, V.; GUTIÉRREZ, E. C.; SEPÚLVEDA, J. Feasibility agricultural use of floating sludge from stabilization ponds. In: INTERNATIONAL

IWA SPECIALIST GROUP CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 5., 2002, New Zealand. **Anais...** New Zealand, 2002. p. 791-794.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; PALACIOS, G. R.; STOOT, R. Guidelines for microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. **Bulletin of the World Health Organization**, p. 1104-1116, 2000.

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. 11-16.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Ed. comemorativa do Dia Mundial da Água. Brasília (DF): ANA, 2002. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/Destaque>>.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC n. 12, de 02 de janeiro de 2001**. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Brasília: Anvisa, 2001.

CAINCROSS, S. Control of enteric pathogens in developing countries. In: ENVIRONMENTAL Microbiology. New York: Ed. R.M.Wiley-Liss, 1992.

CAVALLINI, J. M. Sistemas integrados de tratamento y uso de aguas residuales em América Latina: realidad y potencial. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancun, México. **Anales...** Cancun, 2002.

CEBALLOS, B. S. O. de, Microbiologia sanitária y ambiental. In: MENDONÇA, S. R. **Sistemas de lagunas de estabilizacion**: como utilizar aguas residuales tratadas em sistemas de regadio. Bogotá: McGRAW–HILL Interamericana, 2000. p. 68-106

CIRILO, J. A. Água: problemas e sede de soluções. In: SEMINÁRIO Desenvolvimento Brasileiro e Trópico: dos tristes trópicos aos trópicos alvissareiros. Recife, 1999.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto**: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. 2ª ed. rev. Paraná: Sanepar, 1999.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **AGENDA 21**. Brasília (DF): Senado Federal, 1997.

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. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

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** (Sanare), v. 8, n. 8, p. 33–38, 1997.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Histórico da EMBRAPA** – Algodão. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. Disponível em: <<http://www.embrapa.org.br>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Environmental Regulations and Technology: control of pathogens and vector attraction in Sewage Sludge**. Washington D.C.: EPA, 1992. (EPA/625/R-92/013).

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.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; IHLENFELD, R. G. K.; ANDREOLI, C. V. Reciclagem de lodo de esgoto - experiência da região metropolitana de Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLLI, C. V.; JURGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. In: USO e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: Prosab, 1999. cap. 1. p. 16-25.

FONSECA, D. M.; SALGADO, L. T.; QUEIROZ, D. S.; COSER, A.C.; MARTINS, C. E.; BONJOUR, S. C. de M. Produção de leite em pastagem de capim-elefante sob diferentes períodos de ocupação dos piquetes. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 5, p. 848-856, 1998.

FREITAS, V. P. de. **Questões vigentes de Direito Ambiental**. Seminário. [S.l.]: Centro de Estudos Judiciários do Conselho da Justiça Federal, out. 1997.

GREEN, C. P. O meio ambiente e o crescimento da população. **Population Reports**, v. 20, n. 2, série N, n. 10, 1998.

HESPAHOL, I. Potencial de reuso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (Eds.). **Reuso de águas**. Barueri: Manole, 2003b. p. 37-96.

HESPAHOL, I. Saúde pública e reuso agrícola de esgotos e biossólidos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (Eds.). **Reuso de águas**. Barueri: Manole, 2003a. p. 97-124.

HESPAHOL, I.; PROST, A. M. E. WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality. **Water Research**, v. 28, n.1, p. 119-124, 1994.

ILHENFELD, R. G. K.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. Higienização do lodo de esgoto. In: USO e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: Prosad, 1999. cap. 4. p. 34-45.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Síntese de indicadores sociais – estudos e pesquisas. Rio de Janeiro: IBGE, 2000. (Informação Demográfica e Socioeconômica, n. 5). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 07 outubro 2003.

INTERNATIONAL COTTON ADVISORY COMMITTEE. **Cotton**: review of the World Situation, Washington D.C., v. 55, n. 3, 2002.

JONES, J. G. **A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in freshwaters**. Freshwater Water Biological Association. [S.l.: s.n.], 1979. (Scientific publication, n. 39).

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979.

KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; CAETANO, A. M. O tempo de decantação influenciando no aumento do número de ovos de helmintos em amostras de esgoto bruto. CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

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 ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2000. p. 647-657.

LARA, A. I. I. Monitoramento. In: USO de manejo de lodo de esgotos na agricultura. Curitiba: Prosab, 1999. cap. 8. p. 83-98.

LAVRADOR FILHO, J. Algumas considerações sobre o reuso planejado da água para fins industriais na região metropolitana de São Paulo. **Revista Bio**, v. 2, p. 52-56, 1989.

LEÓN, G. S.; CAVALLINI, J. M. **Tratamiento y uso de aguas residuales**. Lima: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1996.

LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M. dos; MEDRADO, M. J. S. Efeitos do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão no sistema de produção da bracinga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1995, Viçosa (MG). **Anais...** Viçosa, 1995. p. 2273-2275.

MANCUSO, P. C. S. BREGA FILHO, D. Conceitos de reuso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (Eds.). **Reuso de águas**. Barueri: USP, 2003.

MARA, D. D. **Sewage Treatment in Hot Climates**. Chichester: John Wiley & Sons, 1976.

MARQUES, M. O.; CORAUCCI FILHO, B.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T.; LIMA, V. L. A. de; ANDRADE NETO, C. O.; MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; BELLNGIERI, P. H.; VAN HAANDEL, A. C. Uso de esgoto tratados em irrigação: aspectos agronômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. Metais e uso de biossólidos na agricultura. In: BIOSSÓLIDOS na agricultura. São Paulo: ABES, 2002. cap. 12. p. 365-403.

MEDEIROS, J. da S.; SILVA, O. R. R. F. da; CARVALHO, O. S. Edafologia. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa, 1999. p. 117-171.

- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G. Efeitos de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um solo latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 18, p. 449-455, 1994.
- MENDONÇA, S. R. Sistemas de lagunas de estabilización. In: COMO utilizar águas residuales tratadas em sistemas de regadio. Colômbia: Editorial Nomos, 2000.
- MEREDITH JR., W. R. Quantitative genetics. In: KOEHL, R. J.; LEWIS, C. F. (Eds.). **Cotton**. Madison: American Society of America, 1984. p. 131-150.
- 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, v. 6, n. 6, p. 44-49, 1996.
- MOTA, S.; BEZERRA, F. C.; TOMÉ, L. M. Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Fóz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- OLIVEIRA, A. de S. **Observações sobre o desempenho das ETE's de Campina Grande e Monteiro (PB)**. 2002. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.
- PAGANINI, W. da S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo: Fundo Editorial da AESANESP, 1997m.
- PASSOS, L. P. Estado do conhecimento sobre a fisiologia do capim elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM ELEFANTE, 2., 1994, Juiz de Fora. **Anais ...** Juiz de Fora: Embrapa, 1994. p. 12-43.
- PEARCE, R. B.; MOCK, J. J.; BAILEY, T. B. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. **Crop Science**, Madison, v. 15, p. 691-694, 1975.
- PEREIRA, A. V. Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. Origem e Citogenética. In: SIMPOSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 2., 1994, Juiz de Fora. **Anais...** Coronel Pacheco, 1994. p. 1-11.
- PIGOZZO, A. T.; GOBBI, M. A.; LENZI, E.; GALLI, D.; JORDÃO, V. R. Potencialidades de biossólidos como fonte de micronutrientes no latossolo vermelho escuro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.
- PRIMAVESI, A. **A agricultura em regiões tropicais**. O manejo ecológico do solo. São Paulo: Nobel, 1980.
- RADWAN, F. I. Effect of sewage on sunflower and characteristics. **Annual of Agrocol Sciences**, Moshtohor, v. 29, p. 1333-1344, 1991.
- RIBEIRO, K. G.; GOMIDE, J. A.; PACIULLO, D. S. C. Adubação nitrogenada do capim-elefante cv. Mott.2. Valor nutritivo ao atingir 80 e 120 cm de altura. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. .6, p. 1194-1202, 1999.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: United States Department of Agriculture, 1954. (Agriculture Handbook, n. 60).

RODIER, J. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer. 5<sup>a</sup> ed. Paris: Ed. Dumont, 1975. v. 1.

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

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

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, J. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome**. Petrolina: Embrapa, 1995. p. 51-71.

SANTANA, J. C. F.; WANDERLEY, M. J. R. **Interpretação de resultados de análises de fibras efetuadas pelo instrumento de alto volume (HVI) e pelo finurímetro-maturímetro (FMT2)**. Campina Grande: Embrapa, 1995. (Embrapa CNPA Comunicação Técnica, n. 41).

SHUVAL, H. I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. **Wastewater irrigation in developing countries: health effects and technical solutions**. Washington D.C.: The World Bank, 1986. (Technical Paper, n. 51).

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. **Revista PAB** (Pesquisa Agropecuária Brasileira), v. 33, n. 01, 1998. Disponível em: <<http://atlas.spi.embrapa.br/pab.nst/FrAssunto>>.

SILVA, N. L. da. Utilização de lodo de lagoa de estabilização na cultura de sorgo grânifero em casa de vegetação. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

SILVA, N. M. da.; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZZATTO, M. G.; CHIAVEGATTO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. **Seja doutor do seu algodoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1995. (Potafos, Arquivo Agrônomo, n. 8).

SILVA, S. A. **On the treatment of domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil**. 1982. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Dundee, Dundee, 1982.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D. M. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. cap.3. p. 60-121.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (Eds.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Sanepar, 2000. cap. 2.

- 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, 2001.
- TSUTUYA, M. T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.
- TSUTUYA, 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.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503.** Office of Water, Office of Science and Technology Sludge. Risk Assessment Branch. Washington D.C.: USEPA, 2004.
- VANZO, J. E. Horizonte histórico da reciclagem. In: BIOSSÓLIDOS na agricultura. São Paulo: ABES, 2002. p. 1-5.
- von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária E Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 3.
- 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 Commite on soil and Water Management, 1984.
- WENDT, C. W. Use of a relationship between leaf length and leaf, area to estimate the leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), castor (*Ricinus communis* L.), and sorghum (*Sorghum vulgare* L.). **Agronomy Journal**, v. 59, p. 484-486, 1967.
- WESTERHOFF, G. P. Un update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3., 1984, San Diego. **Proceedings...** San Diego, Califórnia, 1984.
- WORLD BANK. **Irrigation and drainage research.** A proposal for an Internationally Supported Program to enhance research on irrigation and drainage technology in developing countries. Washington, D.C.: World Bank/UNDP in collaboration with ICID, 1990. v. 2.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Geneva: WHO, 1989. (Technical Report Series, n. 778).

**Capa e projeto gráfico do miolo**

Gláucia Elisabeth de Oliveira - Nemir/Codec/Ascom/Presi/**Funasa**

**Revisão de texto**

Waldir Rodrigues Pereira - Nemir/Codec/Ascom/Presi/**Funasa**

Olinda Myrtes Bayma Sousa Melo

**Diagramação**

Maria Célia de Souza - Nemir/Codec/Ascom/Presi/**Funasa**

**Normalização bibliográfica**

Raquel Machado Santos - Comub/Ascom/Presi/**Funasa**

