



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA
COM TORTA DE MAMONA E IMPACTOS DO REUSO
DE ÁGUAS NO SISTEMA SOLO-PLANTA**

LEDA VERONICA BENEVIDES DANTAS SILVA

Biblioteca UFPG

SMBC_CDSA

CAMPUS DE SUMÉ

Reg. 10277/12

**Campina Grande
Paraíba**

143.3)

e



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CAMPINA GRANDE – PARAÍBA



**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA COM TORTA DE MAMONA
E IMPACTOS DO REUSO DE ÁGUAS NO SISTEMA SOLO-PLANTA**

Dis
631(043.3)
5586e
lx.01

LEDA VERONICA BENEVIDES DANTAS SILVA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO – 2010

LEDA VERONICA BENEVIDES DANTAS SILVA

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA COM TORTA DE MAMONA
E IMPACTOS DO REUSO DE ÁGUAS NO SISTEMA SOLO-PLANTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES:

Prof. Dr^a. VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA – UFCG/CTRN/UAEAg

Prof. Dr. FRANCISCO ASSIS DE OLIVEIRA – UFPB/CCA/DSER

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO – 2010

UFCG - BIBLIOTECA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586e

2010 **Silva, Leda Veronica Benevides Dantas.**

Efeito residual da adubação orgânica com torta de mamona e impactos do reuso de águas no sistema solo-planta / Leda Veronica Benevides Dantas Silva. — Campina Grande, 2010.

88 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Vera Lúcia Antunes de Lima, Prof. Dr. Francisco Assis de Oliveira.

**1. Água Residuária. 2. Algodão. 3. Adubação Orgânica.
I. Título.**

CDU – 628.381(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

LEDA VERONICA BENEVIDES DANTAS SILVA

EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO ORGÂNICA COM TORTA DE MAMONA E IMPACTOS DO REUSO DE ÁGUAS NO SISTEMA SOLO-PLANTA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Vera Lucia Antunes Lima

APROVADO

Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.– Orientadora

Francisco Assis de Oliveira

APROVADO

Dr. Francisco Assis de Oliveira - Orientador

José Dantas Neto

APROVADO

Dr. José Dantas Neto – Examinador

Maria Sallydelândia S. de Farias

APROVADO

Dra. Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Examinadora

FEVEREIRO - 2010

Dedico este trabalho à minha mãe Eleuza Maria da Silva pelo amor incondicional, compreensão nos momentos em que a distância é inevitável e esforço destinado à minha formação e a meu marido, Valdinei Sofiatti, pelo amor, dedicação e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e saúde.

À Universidade Federal de Campina Grande, em particular à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Professora Vera Lúcia Antunes de Lima, pela orientação, confiança em mim depositada e incansável dedicação em todos os momentos.

Ao Professor Francisco Assis de Oliveira, pela orientação, auxílio, atenção e valiosas sugestões durante a condução dos trabalhos e redação da dissertação.

Aos integrantes do grupo de pesquisa do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) de Campina Grande, pela disponibilização da área experimental, em especial ao Raniery, pela concessão da água residuária tratada.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, em especial ao Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – CNPA, pela doação de parte do material experimental.

A todos os professores que participaram, de forma direta ou indireta, da minha formação acadêmica.

A todos os amigos e colegas de curso, em especial Joelma, Silvana, Riuzuani, Ana Kelliane, Aline e Uilma, pela amizade e agradável convivência.

Aos bolsistas PIBIQ/CNPq Fillipe, Taciana, Franklin e Vivianny, pela ajuda durante o período experimental.

Aos técnicos e funcionários do Laboratório de Água e Solos da Universidade Federal da Paraíba, pelo auxílio na realização das análises de solo.

A todos os funcionários da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, pela atenção dispensada e disponibilidade em ajudar.

Enfim, o meu reconhecimento e gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE QUADROS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Reuso e tratamento de esgotos domésticos	4
2.2. Impactos da disposição de efluentes de esgoto tratados no sistema solo-planta.....	7
2.3. Adubação orgânica e torta de mamona	10
2.4. Cultivo do algodoeiro	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Localização da área experimental	15
3.2. Solo utilizado e preparo.....	15
3.3. Tratamentos e delineamento experimental.....	16
3.4. Caracterização química do solo.....	17
3.5. Cultura utilizada	19
3.6. Tratos culturais	20
3.7. Determinação das lâminas e controle da irrigação	20
3.8. Caracterização química das águas de irrigação.....	21
3.9. Parâmetros avaliados.....	23
3.9.1. Análises químicas do solo.....	23
3.9.2. Teores de nutrientes no tecido foliar	24
3.9.3. Variáveis de crescimento da cultura	24
3.9.4. Determinação indireta do teor de nitrogênio.....	25
3.9.5. Massa seca das plantas	25
3.9.6. Variáveis de rendimento da cultura.....	26
3.10. Análises estatísticas.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Características químicas do solo após o cultivo	27

4.1.1. Acidez do solo e matéria orgânica	27
4.1.2. Fósforo e enxofre	30
4.1.3. Potássio, cálcio e magnésio.....	34
4.1.4. Boro, ferro, manganês e zinco.....	36
4.2. Avaliação do estado nutricional das plantas.....	40
4.2.1. Nitrogênio	40
4.2.2. Fósforo, potássio e enxofre	45
4.2.3. Cálcio e magnésio	48
4.2.4. Boro, ferro, manganês e zinco.....	50
4.3. Salinidade e sodicidade	54
4.4. Variáveis de crescimento das plantas	57
4.4.1. Altura das plantas.....	57
4.4.2. Área foliar	61
4.5. Massa seca das plantas	66
4.6. Rendimento da cultura.....	68
4.6.1. Número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, produção de algodão em caroço e percentual de fibra	68
4.6.2. Teor de óleo.....	72
5. CONCLUSÕES	75
6. REFERÊNCIAS.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de funcionamento de um reator UASB - Adaptado de Chernicharo et al., (1999).....	6
Figura 2. Reator UASB utilizado para o tratamento da água residuária utilizada no experimento	21
Figura 3. Teor de matéria orgânica no solo (g kg^{-1}) em função da dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo.....	29
Figura 4. Teor de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função da dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo.....	33
Figura 5. Teor de ferro trocável no solo (mg dm^{-3}) em função das doses residuais de torta de mamona.....	39
Figura 6. Crescimento da planta em altura do algodoeiro em função das doses de torta de mamona (A), qualidade da água aplicada (B), fonte de adubação residual (C) e tratamentos adicionais (D).....	60
Figura 7. Altura das plantas de algodoeiro ao final do ciclo da cultura em função das doses de torta de mamona aplicadas em primeiro ciclo	61
Figura 8. Crescimento da área foliar em cm^2 do algodoeiro em função das doses de torta de mamona (A), qualidade da água aplicada (B), fonte de adubação residual (C) e tratamentos adicionais (D).....	64
Figura 9. Área foliar por planta determinada no algodoeiro ao final do ciclo da cultura em função das doses de torta de mamona aplicadas em primeiro ciclo	65
Figura 10. Massa seca da parte aérea em função das doses de torta de maraona aplicadas em primeiro ciclo	68
Figura 11. Produção de algodão em caroço, em g planta^{-1} , em função das doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo	72
Figura 12. Teor de óleo nas sementes de algodoeiro em função da qualidade da água aplicada (A) e dos tratamentos adicionais (B).....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância para pH, CTC a pH7, soma de bases, saturação por bases e teores de ($H^+ + Al^{3+}$) e matéria orgânica do solo ao final do experimento	27
Tabela 2. Valores médios de pH, CTC a pH7, soma de bases, saturação por bases e teores de ($H^+ + Al^{3+}$) e matéria orgânica do solo ao final do experimento	28
Tabela 3. Resumo da análise de variância para os teores de fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio, determinados no solo ao final do experimento	31
Tabela 4. Teores médios de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S-SO ₄ ²⁻), cálcio (Ca ²⁺) e magnésio (Mg ²⁺) determinados no solo em função dos tratamentos aplicados.....	32
Tabela 5. Resumo da análise de variância para os teores de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) trocáveis determinados no solo ao final do ciclo do algodão	36
Tabela 6. Teores médios de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) trocáveis determinados no solo, ao final do ciclo do algodão.....	37
Tabela 7. Resumo da análise de variância para o teor de nitrogênio determinado pelo método indireto com clorofilômetro portátil na quinta folha totalmente expandida aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas	40
Tabela 8. Teores médios de nitrogênio determinado pelo método indireto com clorofilômetro portátil na quinta folha totalmente expandida aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas	41
Tabela 9. Resumo da análise de variância para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) determinados no tecido foliar das plantas ao final do experimento	43
Tabela 10. Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) determinados no tecido foliar das plantas ao final do experimento	44
Tabela 11. Análise de variância para os nutrientes boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no tecido foliar das plantas ao final do experimento	50
Tabela 12. Teores totais dos nutrientes boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no tecido foliar das plantas ao final do experimento	51
Tabela 13. Resumo da análise de variância para condutividade elétrica (CE _{es}) e pH (pH _{es}) determinados no extrato de saturação do solo, percentual de sódio trocável (PST) e teor de sódio trocável (Na ⁺ _{solo}) no solo, e teor de sódio no tecido foliar	55

Tabela 14. Valores médios de condutividade elétrica e pH no extrato saturado, percentual de sódio trocável, sódio trocável e sódio no tecido foliar.....	55
Tabela 15. Análise de variância para os dados de altura da planta aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE) das plantas de algodoeiro	58
Tabela 16. Valores médios de altura da planta em cm aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE)	58
Tabela 17. Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão ajustadas para a altura das plantas de algodoeiro em função da época de avaliação	61
Tabela 18. Análise de variância para os dados de área foliar por planta aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE) das plantas de algodoeiro	62
Tabela 19. Valores médios de área foliar total em $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE).....	62
Tabela 20. Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão ajustadas para a área foliar por planta nas épocas avaliadas em função das doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo	65
Tabela 21. Análise de variância para os dados de massa seca da parte aérea e da raiz das plantas ao final do ciclo da cultura	66
Tabela 22. Valores médios de massa seca em g planta^{-1} da parte aérea e da raiz das plantas ao final do ciclo da cultura.....	67
Tabela 23. Resumo da análise de variância para os componentes de rendimento número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, peso de algodão em caroço por planta e percentual de fibra.....	69
Tabela 24. Valores médios dos componentes de rendimento do algodão número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, peso de algodão em caroço por planta e percentual de fibra.....	70
Tabela 25. Resumo da análise de variância para os dados de teor de óleo nas sementes de algodoeiro	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resultado da análise física do solo utilizado para preenchimento dos vasos....	16
Quadro 2. Resultado da análise química do solo utilizado para preenchimento dos vasos	16
Quadro 3. Teores de umidade, óleo, proteína bruta, cinzas, N, P e K da torta de mamona	16
Quadro 4. Caracterização química do efluente tratado utilizado no primeiro cultivo.....	17
Quadro 5. Resultado da análise de fertilidade do solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água potável	18
Quadro 6. Teores de cobre, ferro manganês e zinco no solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água potável	18
Quadro 7. Resultado da análise de fertilidade do solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água residuária	18
Quadro 8. Teores de cobre, ferro manganês e zinco no solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água residuária	19
Quadro 9. Coeficiente semanal de cultura para o algodoeiro de ciclo médio estimado pelo método do Tanque Classe “A”	21
Quadro 10. Caracterização química das duas fontes de água – potável (AP) e residuária tratada (AR) – utilizadas para irrigação	22
Quadro 11. Concentrações médias de pH, alcalinidade total (AT), demandas bioquímica (DBO) e química (DQO) de oxigênio e nitrogênio amoniacal no efluente	23

RESUMO

A utilização de subprodutos na agricultura tem se tornado uma alternativa bastante promissora, uma vez que, ao conceder destinação a resíduos de alta carga orgânica, produzidos em diversas atividades humanas, permite amparar tanto ao aspecto ambiental quanto ao econômico, proporcionando um elevado aporte de nutrientes às plantas, o que possibilita a redução dos custos com fertilização química. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito residual da adubação orgânica com torta de mamona e os impactos da disposição de efluentes de esgoto tratado sobre as características químicas do solo e o desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo, cultivado em sucessão a um ciclo de gergelim. Para isto, plantas de algodoeiro herbáceo foram cultivadas em vasos provenientes de cultivo anterior com plantas de gergelim submetidas a tratamentos que resultaram da combinação fatorial de cinco doses de torta de maraona no substrato (0, 2, 3, 4 e 5 ton ha⁻¹), duas qualidades de água de irrigação (água de abastecimento e efluente doméstico tratado) além de dois tratamentos adicionais com adubação química (NPK + água de abastecimento e NPK + água residuária). O efeito residual das doses e fontes de fertilizantes aplicadas em primeiro ciclo e os impactos inerentes à aplicação das duas diferentes fontes de água de irrigação na cultura do algodoeiro e no sistema solo-planta foram avaliados por meio da determinação das variáveis de crescimento e produção da cultura, da caracterização química do solo ao final do experimento e da avaliação do estado nutricional das plantas de algodoeiro ao final do ciclo. Foi possível concluir que a irrigação com água residuária contribuiu para a redução da acidez do solo e elevação dos teores de fósforo e potássio no solo e na planta. Além disso, o efluente doméstico foi capaz de suprir parcialmente o teor de nitrogênio e completamente os teores de boro e ferro requeridos pelas plantas, contribuindo para o crescimento e produção do algodoeiro. Todavia, os teores de sódio na planta e no solo se elevaram devido à irrigação com água residuária. A torta de mamona aplicada em primeiro ciclo acarretou em efeito residual, tendo as crescentes doses do biofertilizante incrementado os teores de matéria orgânica, fósforo e ferro no solo, além de aumentarem a área foliar, altura, matéria seca da parte aérea e produção do algodoeiro herbáceo cultivado em segundo ciclo.

Palavras-chave: água residuária, *Gossypium hirsutum* L., nutrição de plantas, fertilidade do solo

ABSTRACT

The use of byproducts in agriculture has become quite a promising alternative by providing a destination for the highly-organic waste materials produced by a variety of human activities, it serves to bolster both environmental and economic factor, providing elevated levels of nutrients to the plants which, in turn, brings about a reduction in the costs of chemical fertilization. The objective of this study was to evaluate the residual effects of organic fertilization using castor cake as well as the impact of the disposal of treated sewage effluents on the chemical properties of the soil and the development and production of cotton cultivated in succession to a crop of sesame plants. Cotton plants were cultivated in pots which had been previously used for the cultivation of sesame that had been submitted to treatments resulted from the factorial design of five levels of castor cake in the substrate (0, 2, 3, 4 and 5 ton ha⁻¹), two qualities of irrigation water (potable water and treated domestic effluent) in addition to two additional treatments with chemical fertilization (NPK + potable water and NPK + wastewater). The residual effect of the castor cake and fertilizer sources applied in the first cycle and the inherent impact of the application of the two different sources of irrigation water on the cotton crop and the plant-soil system were evaluated through the determination of growth and cotton production, soil chemical properties and nutritional state of cotton plants at the end of the cycle. It was possible to conclude that the irrigation with wastewater contributed to reduce the soil acidity and elevate phosphorous and potassium contents in the soil and plant. Additionally, the domestic effluent was capable of partially supplying the nitrogen content and completely supplying the levels of boron and iron required by the plants, contributing to the growth and production of cotton. However, the sodium levels were elevated plant and soil as a result of irrigation with potable water. The castor cake applied during the first cycle resulted in a residual effect, with the increasing levels of biofertilizer increasing the organic material content, phosphorous and iron in the soil, in addition to increasing the leaf area, height, dry matter of the aerial part and cotton production during the second cycle.

Keywords: wastewater, *Gossypium hirsutum* L., plant nutrition, soil fertility

1. INTRODUÇÃO

O aumento acelerado da população mundial verificado nas últimas décadas, associado à intensificação das atividades humanas e a necessidade de produção de alimentos, têm elevado consideravelmente o volume de lixo e esgoto produzidos nos centros urbanos e áreas rurais.

Em todo o planeta 6,8 bilhões de pessoas geram, diariamente, cerca de três milhões de toneladas de resíduos sólidos das mais variadas naturezas, sem contar os resíduos industriais e os rejeitos de mineração, praticamente incalculáveis. Os subprodutos agroindustriais representam parcela significativa deste montante e são provenientes de diversas atividades, como usinas sucroalcooleiras (bagaço, vinhaça), criatórios de animais em confinamento (estercos), matadouros e indústrias do processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), indústria de processamento de frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), indústria da celulose e papel (resíduos da madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuárias), curtumes (aparas de couro), indústrias de produção de biodiesel (tortas, bagaços), além dos resíduos do cultivo agrícola (Matos, 2005).

No que diz respeito ao esgoto doméstico, do volume total coletado apenas uma pequena parte recebe tratamento prévio antes de ser lançado nos cursos de água ou utilizado para outros fins, fato que resulta em volumes cada vez maiores de resíduos líquidos lançados diariamente em fossas, valas e outros locais inapropriados, principalmente em países de baixa renda.

Além da possibilidade de contaminação direta, a disposição de resíduos sólidos e líquidos no solo e em corpos hídricos interfere negativamente na saúde pública ao atrair e servir de habitat para a proliferação de micro (bactérias, fungos, vírus, protozoários, etc.) e macrovetores (moscas, mosquitos, baratas e ratos) de doenças. Somado a esses malefícios, tem-se a liberação de gases fétidos que causam desconforto aos seres humanos e a deterioração do aspecto estético da paisagem.

O uso inadequado do solo é frequentemente apontado como o principal fator a afetar a saúde do ecossistema de bacias hidrográficas, portanto a disposição sem controle de resíduos no meio edáfico representa uma preocupante fonte de poluição de águas subterrâneas e de superfície. Tal fato, além de contribuir para a degeneração dos corpos hídricos representa, também, fator econômico de extrema relevância em decorrência do

elevado custo do tratamento de água para fins de abastecimento (von Sperling, 1996; León & Cavallini, 1999).

Neste sentido, a utilização de subprodutos na agricultura surge como alternativa promissora, que permite conceder destinação adequada aos resíduos produzidos nas mais diversas atividades humanas. Esta prática, além de amparar o tocante à preservação ambiental, tem se mostrado uma opção economicamente viável no sentido de reduzir o custo de produção dos mais variados produtos agrícola. Isto pode ser obtido por meio da aplicação, ao solo, de resíduos de alta carga orgânica os quais, ao proporcionarem elevado aporte de nutrientes às plantas, reduzem significativamente a necessidade de fertilização química.

A disposição de efluentes domésticos em solos agrícolas é denominada reuso de água e constitui uma forma bastante difundida de destinação final de esgotos, fazendo parte do planejamento e gestão dos recursos hídricos em muitos países como, por exemplo, na Austrália, Arábia Saudita e Israel (Pescod, 1992). Esta prática permite reduzir os custos de fertilização das culturas, bem como o nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, os custos de seu tratamento, uma vez que as águas residuárias contêm nutrientes e o solo e as culturas se comportam como biofiltros naturais (Haruvy, 1997). León & Cavallini (1999) afirmam que os esgotos tratados constituem adubos naturais para a produção de alimentos, o que pode elevar a produção agrícola e, em contrapartida, a geração de emprego e retorno econômico. Outro aspecto positivo do reuso é a possibilidade da implantação de pólos agrícolas em áreas desérticas.

A adubação orgânica, por sua vez, consiste da aplicação, em solos cultivados, de produtos de origem orgânica processados sob diversas formas (tortas, estereos, cinzas, vermicompostos, etc). Em geral, os fertilizantes orgânicos possuem baixa concentração mineral e, se aplicados corretamente, possibilitam adequado suprimento de nutrientes às plantas, além de atuarem como agentes condicionantes melhorando as características físicas dos solos. Pode-se citar, como exemplos, o aumento da aeração, da disponibilidade de água no solo e a melhoria da agregação das partículas, aspectos estes que auxiliam no controle dos processos erosivos e de degradação dos solos (Drinkwater et al., 1995).

Deve-se considerar ainda que, devido à taxa mais lenta de mineralização dos compostos orgânicos em comparação com os fertilizantes minerais, sua aplicação ao solo garante às culturas disponibilização mais constante de nutrientes ao longo do ciclo e entre diversos ciclos, o chamado efeito residual.

No entanto, é importante ponderar que tanto o reuso de água quanto a adubação orgânica, fornecem aos solos compostos orgânicos sem composição definida, o que torna essas práticas passíveis de riscos sanitários e ambientais devido à possibilidade dos resíduos utilizados possuírem componentes tóxicos ao ambiente ou ao ser humano.

Torna-se necessário, portanto, a busca por conhecimento acerca das interações desses compostos orgânicos com o sistema água-solo-planta a fim de estabelecer estratégias e parâmetros de aplicação que possibilitem minimizar os impactos negativos de sua disposição no ambiente. Outra precaução a ser adotada é a aplicação destes biocompostos preferencialmente para o cultivo de produtos agrícolas que não sejam de consumo direto reduzindo, desta forma, os riscos de intoxicação em humanos. A cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) pode ser considerada uma boa opção pois, além de possuir elevado valor agregado, mostra-se altamente responsiva às práticas de adubação e irrigação possibilitando a obtenção de uma série de benefícios combinados.

Diante da atualidade e relevância desta temática objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar os impactos da disposição de efluente de esgoto tratado e o efeito residual da adubação orgânica com torta de mamona sobre as características químicas do solo e o desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo, cultivado em sucessão a um ciclo de gergelim.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Reuso e tratamento de esgotos domésticos

Nas últimas quatro décadas o Brasil tem passado por intenso processo de expansão das populações urbanas, o que acarreta em acréscimos significativos no volume de resíduos municipais produzidos. Em contrapartida, o percentual da população que dispõe de esgotamento sanitário é de apenas 40% perfazendo o total de 14,8 milhões $\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$ de efluentes coletados pelos sistemas de esgoto. Destes, apenas 39% recebem tratamento prévio antes de serem lançados nos cursos de água ou utilizados para outros fins o que culmina no descarte diário de cerca de nove milhões de metros cúbicos de águas residuárias por meio de fossas sépticas, sumidouros, valas abertas ou lançadas nos rios, lagos e mares (IBGE, 2000; Medeiros, 2005). Tal fato, além de contribuir para a deterioração dos corpos hídricos e interferir negativamente na saúde pública, representa também um fator econômico de extrema relevância devido ao elevado custo do tratamento de água para fins de abastecimento (von Sperling, 1996; Léon & Cavallini, 1999).

Em meio a este contexto o uso de águas residuárias surge como estratégia atrativa que permite conceder melhor destinação aos efluentes urbanos minimizando a carga de sua disposição nos corpos hídricos.

Por reuso entende-se o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não (Lavrador Filho, 1987).

Segundo van der Hoek et al. (2002) as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária residem em sua grande disponibilidade, na conservação da água disponível e na possibilidade da reciclagem de nutrientes, concorrendo para a preservação do meio ambiente. Neste sentido, a água de reuso pode ser considerada sob dois aspectos: primeiro, como instrumento para a redução do consumo de água (controle da demanda) e, segundo, como recurso hídrico complementar a ser utilizado em algumas aplicações, possibilitando a disponibilização das águas de melhor qualidade para fins mais nobres.

Feigin et al. (1991) consideram o reuso agrícola mediante aplicação de efluentes na irrigação de cultivos agrícolas e parques, como o propósito mais razoável e mais praticável do reuso. Isto se baseia principalmente na elevada demanda hídrica do setor agrícola, o qual é responsável por aproximadamente 70% do total de água captado podendo chegar a

até 85% em áreas de clima seco, figurando como a atividade que mais consome recursos hídricos (Ayers & Westcot, 1999; Hespanhol, 2002; Christofidis, 2003; Capra & Scicolone, 2004).

No entanto, é preciso ressaltar que, apesar dos potenciais benefícios do reuso agrícola, a irrigação com esgoto sem tratamento pode ser nociva ao meio ambiente, à saúde humana, ao solo, aos aquíferos e às culturas irrigadas, visto que tais efluentes podem conter constituintes poluentes dentre eles: a matéria orgânica, representada pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pela demanda química de oxigênio (DQO) e pelos sólidos suspensos totais (SST); os poluentes orgânicos e inorgânicos e os microrganismos patogênicos, como as bactérias, os vírus e demais parasitas transmissores de doenças de veiculação hídrica (Haruvy, 1998; Mancuso & Santos, 2003).

Portanto, o tratamento das águas residuárias e o bom conhecimento acerca de suas relações com o sistema água-solo-planta, se tornam fatores de primordial importância para o sucesso da prática do reuso agrícola

De acordo com Hespanhol (2002) o nível de tratamento a ser aplicado em efluentes de esgoto deve basear-se na qualidade da água utilizada e no objeto específico do reuso. Na depuração de águas residuárias domésticas para fins de reuso agrícola objetiva-se reduzir a concentração dos seguintes componentes: sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e microrganismos patogênicos (van Haandel & Lettinga, 1994).

Para atingir este fim, as águas residuárias passam por processos de tratamento que, segundo Sousa & Leite (2003) podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos se caracterizam pela remoção dos constituintes fisicamente possíveis de separação, tais como sólidos grosseiros, flutuantes e decantáveis. Os processos químicos se caracterizam, geralmente, pela adição de produtos químicos à água a ser tratada, destacando-se os processos de floculação, precipitação e oxidação. E o processo biológico de tratamento engloba a decomposição do material orgânico presente de modo a transformá-lo em substâncias menos complexas.

Dentre os métodos biológicos disponíveis para o tratamento de esgotos domésticos o que tem sido mais amplamente adotado é a digestão por meio de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Leito de Lodo (RAFA), cuja sigla original é UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Trata-se de um reator com retenção interna de lodo

desenvolvido por Lettinga (1980) que apresenta reduzido custo operacional, baixo consumo de energia e boa estabilidade do processo (Hirata et al., 1986).

O esgoto a ser tratado pelo UASB é introduzido na base do reator através de tubulações de distribuição, ascendendo entre o manto de lodo formado, onde ocorre a maior parte da biodegradação da matéria orgânica. Segundo Chernicharo et al. (1999), os microrganismos decompositores presentes no reator formam grânulos de 1 a 5 mm que se mantêm em suspensão devido ao fluxo ascendente do efluente a ser tratado. Desta forma, enquanto o líquido atravessa o manto formado por esses grânulos, os microrganismos digerem a matéria orgânica contida no líquido e nos sólidos em suspensão.

Após o manto de lodo denso, o líquido encontra uma camada de lodo mais dispersa e menos densa até chegar ao topo, onde passa por um separador trifásico; neste ponto, o lodo residual, que é arrastado pelo fluxo ou por bolhas de gás, é separado do líquido efluente no separador, retornando por gravidade ao fundo do reator. O gás, por sua vez, é também separado, deixando o líquido e sendo conduzido por um sistema de coleta que o leva para fora do reator, onde pode ser queimado com o uso de um queimador ou disperso na atmosfera (Figura 1).

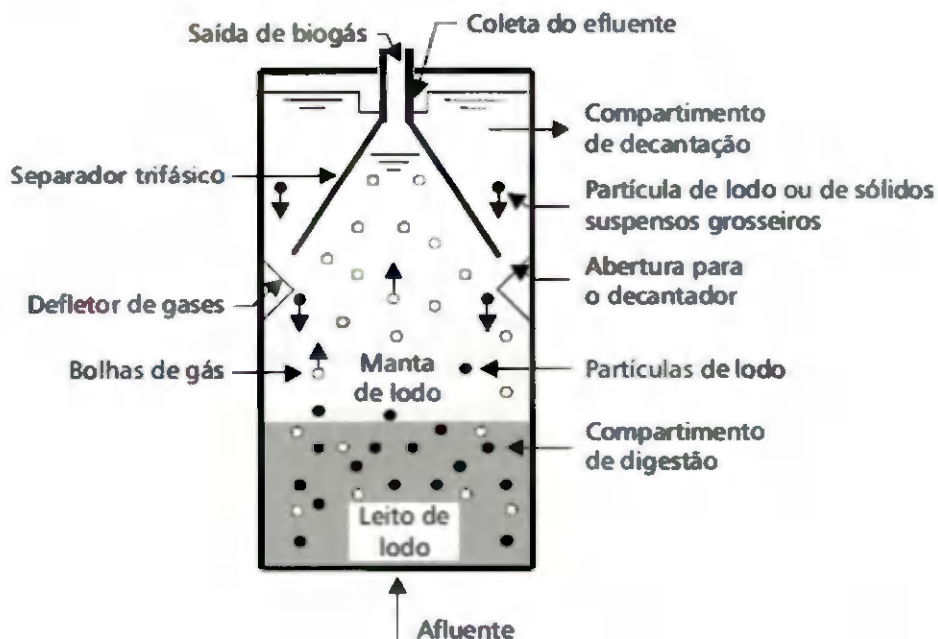


Figura 1. Esquema de funcionamento de um reator UASB - Adaptado de Chernicharo et al., (1999)

Em contrapartida, na maioria dos estados brasileiros os órgãos públicos de meio ambiente têm imposto que, para que um efluente possa ser descartado em corpos hídricos, sua Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) deve ter valor máximo de 60 mg L^{-1} . Visto que o tratamento via reator UASB geralmente resulta em efluente com DBO entre 60 e 120 mg L^{-1} , torna-se primordial a adoção de uma fase de pós-tratamento com vistas à complementação do processo e ao atendimento à legislação vigente.

Como alternativas de pós-tratamento de reatores UASB tem-se: filtro anaeróbio; lagoas de polimento; disposição no solo; biofiltro aerado; filtro biológico e lodo ativado (Chernicharo, 1997). Uma vez que o solo e a vegetação podem atuar como biofiltros naturais permitindo a purificação dos resíduos neles dispostos e que o efluente tratado apresenta elevados teores de nutrientes que podem contribuir para o desenvolvimento das plantas, deve-se ponderar que a alternativa mais viável de pós-tratamento é a disposição das águas residuárias no solo pois esta prática, se realizada de maneira adequada, permite a obtenção de uma série de benefícios combinados.

2.2. Impactos da disposição de efluentes de esgoto tratados no sistema solo-planta

Os impactos ocasionados pela disposição de efluentes de esgoto tratados em cultivos agrícolas geralmente estão relacionados aos seguintes aspectos: grau de tratamento da água residuária; características químicas e microbiológicas do efluente; taxa e técnica de aplicação do resíduo; capacidade de drenagem do solo; profundidade do lençol freático; cultura irrigada e fatores climáticos.

Em países com tradição no reuso agrícola de efluentes tratados como, por exemplo, Israel e Austrália, existe um grande número de trabalhos voltados ao monitoramento dos efeitos da aplicação de águas residuárias em sistemas agrícolas tendo-se verificado que a adoção de técnicas de manejo adequadas permite a aplicação desses efluentes de forma segura e sustentável, além de permitir um bom grau de predição dos resultados (Montes et al., 2006).

Geralmente, estudos nos quais se lança mão da aplicação de efluentes tratados em cultivos agrícolas têm constatado aumento nos teores de macro e micronutrientes no solo e tecido vegetal, além de acréscimos na produtividade das culturas, quando em comparação com a irrigação com água potável de abastecimento.

No que diz respeito às mudanças nos teores de nutrientes no solo, Falkiner & Smith (1997) observaram aumento no valor de pH e acréscimo nos teores de cátions trocáveis no solo (Ca, Mg, K e Na) em solos irrigados com água residuária. Eles relataram também elevação na capacidade de troca catiônica, a qual foi atribuída à substituição dos prótons H^+ nos colóides do solo pelos íons Ca, Mg, K, Na e HCO_3^- adicionados via efluente tratado.

Medeiros et al. (2005) observaram que, em relação ao manejo convencional com calagem, adubação convencional e irrigação com água de represa, a aplicação de água residuária elevou de forma significativa o pH, aumentando também os teores de matéria orgânica, nitrogênio total, cálcio, magnésio e fósforo remanescente na camada arável do solo.

As alterações nos teores de nutrientes em solos são ainda mais evidentes quando a irrigação com água residuária se estende por vários anos. Gwenzi & Munondo (2008), analisaram os efeitos da aplicação de águas residuárias tratadas ao longo de 26 anos em um solo arenoso do Zimbábue e constataram que, em comparação a solos da mesma região, porém não irrigados, a aplicação com efluentes domésticos resultou em elevação de aproximadamente 120% no percentual de carbono orgânico e de 250% e 340% nos teores de nitrogênio total e fósforo total, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Jahantigh (2008) que constatou que a irrigação com efluentes tratados durante cinco anos em área de pastagem no Irã, elevou os teores de Mg, Mn, P, B e K trocáveis no solo em 137, 13, 43, 0,3 e 262 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente, o que correspondeu a aumentos de 42, 20, 116, 13 e 80% em relação ao observado no solo irrigado com água superficial de boa qualidade.

Devido à característica salina geralmente observada em águas residuárias tratadas, estudos utilizando esses efluentes para irrigação têm resultado em elevação na salinidade e sodicidade do solo, sobretudo nas camadas mais superficiais.

Elevação na condutividade elétrica e nos teores de sódio trocável ou solúvel em solos irrigados com efluentes tratados foi observada por Johns & Mcconchie (1994), Al-Nakshabandi et al. (1997), Duarte (2006) e Leal et al. (2009). Latterell et al. (1982) verificaram que os teores de Na aumentaram de 3,5 até 25 vezes, em função da taxa de aplicação de efluente.

Gwenzi & Munondo (2008), por outro lado, não constataram aumento nos teores de Na no solo após irrigação com água residuária durante 26 anos, enquanto Stewart et al.

(1990), verificaram em um solo florestal irrigado durante quatro anos com efluentes tratados, que a salinidade foi reduzida em virtude da lixiviação e da absorção de sais pelas plantas.

Teores excessivos de sódio em solos devem ser monitorados, uma vez que grandes proporções de Na nos sítios de troca dos solos reduzem a atração eletrostática entre as partículas, ocasionando expansão e dispersão das argilas o que, por sua vez, leva à desagregação das partículas, destruindo a estrutura do solo. Estas partículas dispersas podem mover-se ao longo do perfil de solo, ocupando os espaços porosos e comprometendo a infiltração de água e aeração do solo (Raij, 1991; Rengasamy & Olsson, 1991).

Em relação às alterações provocadas no tecido foliar e na produção de plantas cultivadas, tem-se observado que a aplicação de efluentes domésticos tratados resulta em produtividades semelhantes às obtidas pela adubação mineral recomendada para a cultura.

Vazquez-Montiel et al. (1996) cultivaram plantas de milho irrigadas com água residuária tratada em região de solo arenoso no sul de Portugal e constataram que a aplicação do efluente de esgoto elevou a produtividade da cultura e os teores de nitrogênio e fósforo absorvidos e acumulados pelas plantas. Resultado semelhante foi obtido por Mohammad & Ayadi (2004) que, ao utilizarem duas fontes de água e nutrientes – água residuária tratada e água potável + adubo mineral – para aplicação de uma mesma quantidade de N e P ao solo, observaram que a aplicação de água residuária resultou em maior acúmulo dos nutrientes N, P, K, Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea de plantas de milho e no sistema radicular de ervilhaca-comum, além de maior produtividade destas duas culturas.

Por outro lado, Khan et al. (2009), apesar de verificarem acréscimos nas variáveis de produção do girassol (diâmetro do capítulo, número de sementes por planta, peso total de sementes por planta e peso de 100 sementes) mediante aplicação de água residuária tratada, constataram que os teores foliares de nutrientes não foram maiores do que os observados nas plantas irrigadas com água doce e adubadas com fertilizante mineral.

Elevações na produtividade e nos teores de nutrientes de plantas irrigadas com águas residuárias tratadas se devem não só à presença de montantes adequados de macro e micronutrientes nesses efluentes mas, também, aos elevados teores de matéria orgânica a qual atua melhorando a estrutura e outras propriedades físicas do solo garantindo maior

disponibilização de água e nutrientes às culturas (Friedel et al., 2000; Ramirez-Fuentes et al., 2002; Mekki et al., 2006).

No Brasil, vários estudos vêm comprovando o efeito fertilizante das águas residuárias em diversas culturas olerícolas como a melancia (Rego et al., 2005), o pepino (Azevedo et al., 2005) e a alface (Lima et al., 2005 e Sandri et al., 2006). No entanto tem-se verificado que as elevadas taxas de microrganismos patogênicos presentes nestes efluentes podem acarretar contaminação dos produtos cultivados, dos agricultores e dos consumidores finais.

Portanto, para fins de reuso agrícola, deve-se dar prioridade à irrigação de espécies que não sejam de consumo direto como, por exemplo, as culturas do algodão, linho, vegetais para a produção de sementes, alimentos para animais e forragem, zonas de bosques e pastos e para várias espécies de vegetais que não representam perigo à saúde pública (Couracci Filho et al., 1999).

2.3. Adubação orgânica e torta de mamona

O crescimento do setor agroindustrial verificado no País nas últimas décadas tem elevado sobremaneira a produção de resíduos provenientes de atividades, como usinas sucro-alcooleiras (bagaço, vinhaça), criatórios de animais em confinamento (estercos), matadouros e indústrias do processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), indústria de processamento de frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), indústria da celulose e papel (resíduos da madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuárias), curtumes (aparas de couro), indústrias de produção de biodiesel (tortas, bagaços), além dos resíduos do cultivo agrícola (Matos, 2005).

Como forma de reduzir os impactos negativos da disposição não controlada desses resíduos no meio ambiente, pode ser adotada a adubação orgânica que, além de atender ao propósito ambiental, assegura também elevado aporte de nutrientes e matéria orgânica para o solo e as plantas cultivadas.

Em geral, os adubos orgânicos são adicionados ao solo por incorporação antes do plantio e, após sua mineralização, esses compostos liberam nutrientes que poderão ser absorvidos pelas culturas, contribuindo para sua nutrição. De acordo com Kiehl (1985), a matéria orgânica constitui importante fonte alternativa de nutrientes para as plantas, pois

permite fornecer, a estas, todos os macro e micronutrientes dos quais necessitam para seu pleno crescimento e desenvolvimento.

Ademais, a aplicação de adubos orgânicos propicia uma significativa melhoria nas características físicas dos solos. Pode-se citar, como exemplo, o aumento da aeração, da disponibilidade de água no solo e a melhoria da agregação das partículas, aspectos estes que auxiliam no controle dos processos erosivos e de degradação dos solos (Drinkwater et al., 1995). A adubação orgânica está também associada a outros efeitos benéficos tais como o incremento da matéria orgânica do solo e da atividade dos microrganismos benéficos, a maior disponibilização de nutrientes, o aumento da capacidade de troca de cátions e a redução na população de patógenos, além da estabilização do pH (Lima, 2001; Bulluck et al., 2002).

Os materiais orgânicos usados para fins de adubação podem ser de procedência animal, como os esterco; vegetal, como a casca de arroz e o bagaço de cana; constituírem resíduos da agroindústria, como a vinhaça, a torta de mamona e a torta de filtro ou, ainda, outras espécies de resíduos, como o lodo de esgoto e outros resíduos domésticos. E o reaproveitamento desses resíduos na forma de adubos pode ser ou não associado à fertilização química e aplicado a atividades diversas que incluem desde a formação de mudas frutíferas até o cultivo de olerícolas ou grandes culturas.

Em decorrência do avanço da pesquisa em biocombustíveis, um resíduo que tem se destacado como potencial adubo orgânico para a agricultura é a torta de mamona. Trata-se de um composto resultante do processo de extração de óleo das sementes de mamoneira (*Ricinus communis* L.) produzido na proporção de 530 kg de torta para cada tonelada de sementes prensadas.

A torta de mamona tem sido utilizada como adubo desde meados do século passado em diversos países, sendo que na Índia 85% do total do composto produzido são aplicados atualmente na agricultura (Konnur & Subbarao, 2004).

No Brasil, a torta de mamona foi empregada, inicialmente, como fertilizante na cultura do café, tendo sua utilização expandida para diversas culturas como, por exemplo, milho, hortaliças e espécies floríferas. De acordo com Severino (2005) o biocomposto tem demonstrado bons resultados na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo além de possuir, também, propriedades inseticidas e nematicidas (Directorate Of Oilseeds Research, 2004).

Em comparação com outros fertilizantes orgânicos nitrogenados, a torta de mamona apresenta a maior quantidade de N, na proporção de 37,7 kg ton⁻¹, enquanto esterco bovino, esterco misto e torta de algodão apresentam, respectivamente, 3,4 kg ton⁻¹, 5,0 kg ton⁻¹ e 31,3 kg ton⁻¹ (Beltrão, 2002).

Panichsakpatana (1995) ao realizar estudo a fim de verificar eficiência da torta de mamona como fonte de N para o milho-doce, observou que, quando em comparação com o sulfato de amônio, este resíduo possibilita a mesma disponibilização do nutriente sem, entretanto, afetar o pH, a condutividade elétrica e o conteúdo de Na no solo.

Em cultivo de gergelim de sequeiro, Narkhede et al. (2001), verificaram que a adubação com 1 ton ha⁻¹ de torta de mamona superou a aplicação de 5 ton ha⁻¹ de estercos, obtendo produção muito semelhante à verificada pela aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N mineral.

Rani & Mallareddy (2007) constataram que cenouras adubadas com torta de mamona acrescida de 50% da dose recomendada de fertilizante mineral alcançaram tamanho e teores de caroteno e açúcares semelhantes às aquelas que haviam recebido 100% da adubação recomendada. Os autores destacaram que a utilização combinada de adubos orgânicos e minerais possibilita a aplicação de menores doses de fertilizantes sintéticos contribuindo, assim, para a conservação dos solos.

Investigações experimentais conduzidas na Índia por Narayanaswamy et al. (2006), Kacha et al. (2007) Yadav et al. (2007), Patil et al. (2008) e Bodake & Rana (2009) tiveram por objetivo atestar os efeitos fertilizantes da torta de mamona respectivamente em cultivos de amora, pimentão verde, sorgo forrageiro feno grego, e na sucessão girassol-milho. No entanto existe ainda pouca informação científica sobre seus efeitos no solo, tampouco os possíveis efeitos residuais de sua aplicação.

Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que visem ao melhor conhecimento da composição química e da persistência dos compostos de torta de mamona no solo, a fim de potencializar e difundir seu uso como biofertilizante.

2.4. Cultivo do algodoeiro

Algodoeiro é o nome vulgar dado a várias espécies do gênero botânico *Gossypium*, da família Malvaceae. Existem cerca de 40 espécies, arbustivas, nativas das regiões subtropicais e tropicais, algumas das quais são utilizadas para a produção da fibra têxtil conhecida como algodão.

O Brasil é o quarto maior exportador de algodão, sendo precedido pelos Estados Unidos, Uzbequistão e Austrália. Segundo dados do Acompanhamento da Safra Brasileira (CONAB, 2010), a cultura está presente em 15 estados brasileiros sob as mais variadas condições de ambiente, sendo os três principais produtores os estados de Mato Grosso, Bahia e Goiás, com produções estimadas de 1.432,2; 1098,9 e 215,2 mil toneladas de algodão em caroço, respectivamente. Na região nordeste os três maiores produtores são os estados da Bahia, Piauí e Rio Grande do Norte.

A cadeia produtiva do algodão movimentou, em 2007, mais de 26.800 empresas responsáveis por 1,5 milhão de empregos diretos e indiretos. As exportações brasileiras de produtos têxteis geraram cerca 2,4 bilhões de dólares, propiciando uma receita bruta de 41,3 bilhões de dólares (IEMI, 2008).

O algodoeiro herbáceo (*G. hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) é a espécie mais cultivada no Brasil, trata-se de uma planta adaptada ao clima quente com ciclo vegetativo que varia de quatro a sete meses conforme a quantidade de calor recebida.

A espécie apresenta tolerância relativamente alta à seca quando comparada a culturas como a soja, arroz e milho, entre outras. Isto se deve à sua capacidade de aprofundamento do sistema radicular em condições de déficit hídrico, o que permite à planta absorver água em camadas mais profundas do solo em situações de stress (Rosolem, 2007). No entanto, uma vez que as atividades fisiológicas e metabólicas da cultura estão diretamente vinculadas ao seu consumo hídrico, esta capacidade adaptativa se dará em detrimento da produtividade (Bczerra et al., 2003).

Os efeitos da deficiência de água podem ser observados em quase todas as fases de desenvolvimento do algodoeiro, porém o comprometimento da produção é mais relevante quando as variações do conteúdo de água ocorrem na fase de floração (Hearn, 1975; Prieto & Angueira, 1999; Han et al., 2001).

O manejo hídrico inadequado, com períodos de déficit prolongado, poderá afetar o crescimento vegetativo da planta (Hank, 2007) com conseqüente redução na produção de fotoassimilados (Liu et al., 2007) prejudicando, desta forma, a produtividade da cultura (Kimball & Mauney, 1993; Gerik et al., 1996; Saranga et al., 1998; Pettigrew, 2004) além de interferir na qualidade da fibra (Luz et al., 1998; Liu et al., 2008) resultando em inúmeros prejuízos para o produtor.

Em contrapartida, e de acordo com Beltrão et al. (1997), o algodão é particularmente sensível à falta de oxigênio na zona radicular; desta forma, condições de

alta pluviosidade, que podem resultar em encharcamento do solo com consequente anoxia na região das raízes, levariam também a redução da produtividade da cultura.

Em termos de nutrição, o algodoeiro herbáceo se caracteriza como cultura altamente exigente em virtude de apresentar elevada sensibilidade à deficiência de nutrientes, em especial nitrogênio, potássio, enxofre e boro (Crozier, 2008).

Em geral, nos primeiros trinta dias após a emergência a cultura se mostra mais exigente em magnésio (Mg), enxofre (S) e ferro (Fe). Na fase entre a formação de botões florais e o máximo florescimento, torna-se mais sensível à carência de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) (Carvalho et al., 2007).

A fertilização correta com níveis adequados de nutrientes é o fator de maior importância sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura do algodoeiro, sendo responsável por cerca de 60% da produtividade final obtida.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental

A fim de avaliar o efeito residual da adubação orgânica com torta de mamona utilizaram-se vasos provenientes de plantio experimental anterior com plantas de gergelim cultivadas no período entre 13 de janeiro e 25 de maio do ano de 2008.

O experimento foi instalado e conduzido em área não coberta pertencente à Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), localizada no município de Campina Grande, PB, sob as seguintes coordenadas geográficas 7°13'11" S e 35°52'31" W e altitude de 550 m. No local se situam a Estação de Tratamento Biológico de Esgotos (EXTRABES) e o grupo de pesquisa do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB).

Conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o município apresenta precipitação total anual de 802,7 mm, temperatura máxima de 27,5°C, mínima de 19,2°C e umidade relativa do ar de 83%.

3.2. Solo utilizado e preparo

O solo utilizado para preenchimento dos vasos foi proveniente do Município de Campina Grande, PB, tendo sido coletado nos primeiros 20 cm da camada superficial, conduzido para a área experimental e disposto em vasos com capacidade para 20 L, os quais constituíram as unidades experimentais. O solo foi classificado como Neossolo Regolítico psamítico solódico (Embrapa, 1999), de textura franco-arenosa, baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica. A caracterização físico-química do solo constou da determinação dos seguintes parâmetros: teores de areia, silte e argila; argila dispersa; grau de floculação; densidade do solo; densidade de partículas; porosidade total; pH em água; fósforo disponível; potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis; acidez potencial (H + Al) e matéria orgânica, determinados em conformidade com as recomendação da Embrapa (1997). Os resultados das análises de solo se encontram nos Quadros 1 e 2.

Calcularam-se, a partir dos dados da análise química, os seguintes parâmetros: soma de bases ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$), capacidade de troca catiônica efetiva ($CTC_{ef} = SB + Al$), capacidade de troca catiônica a pH_{7,0} [$CTC = SB + (H^{+} + Al^{3+})$] e

saturação por bases ($V = 100 \times SB/CTC$ a $pH_{7,0}$).

Quadro 1. Resultado da análise física do solo utilizado para preenchimento dos vasos

Areia		Silte	Argila	Argila dispersa	Grau de flocculação	Densidade do solo	Densidade de partícula	Porosidade total
Fina	Grossa							
----- g kg ⁻¹ -----			----- kg dm ⁻³ -----			m ³ m ⁻³		
531	316	109	44	25	432	1,42	2,64	0,46

Quadro 2. Resultado da análise química do solo utilizado para preenchimento dos vasos

pH H ₂ O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(H + Al)	SB	CTC	V	M.O.
	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	g kg ⁻¹
6,03	8,80	117,30	0,07	1,90	0,64	0,58	2,91	3,49	83,40	7,30

3.3. Tratamentos e delineamento experimental

Utilizou-se no experimento delineamento em blocos casualizados, com 3 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial misto (5 x 2 + 2), sendo os fatores constituídos de cinco doses de torta de mamona no substrato (0, 2, 3, 4 e 5 ton ha⁻¹), duas qualidades de água de irrigação (água de abastecimento e água residuária) e dois tratamentos adicionais com adubação química (NPK + água de abastecimento e NPK + água residuária). Esses tratamentos foram aplicados ao solo no cultivo anterior com gergelim, ou seja, em primeiro cultivo.

A adubação mineral realizada nos tratamentos adicionais em primeiro cultivo teve por finalidade adicionar, ao solo, 60 kg ha⁻¹ N, 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ K₂O, o que correspondeu à aplicação de 2,33 g de sulfato de amônio, 2,00 g de superfosfato simples e 0,46 g de cloreto de potássio em cada unidade experimental. Metade da dose do adubo foi incorporada ao plantio e a outra parte após 30 dias.

A torta de mamona utilizada para adubação orgânica foi submetida a análises laboratoriais a fim de se determinar seus teores de óleo, proteína bruta, cinzas e nutrientes, cujos resultados estão no Quadro 3.

Quadro 3. Teores de umidade, óleo, proteína bruta, cinzas, N, P e K da torta de mamona

Umidade	Óleo	Proteína bruta	Cinzas	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
8,13%	13,10%	28,74%	12,11%	4,60%	3,00%	0,96%

A água residuária doméstica utilizada no primeiro ciclo, era proveniente do PROSAB de Campina Grande, PB, e foi tratada por meio de reator UASB (Reator anaeróbico de fluxo ascendente).

A caracterização química do efluente consistiu na determinação dos seguintes parâmetros: pH; condutividade elétrica (CE); concentrações de cálcio, magnésio, sódio, potássio, sulfato (SO_4), carbonatos (CO_3), bicarbonatos (HCO_3), cloretos (Cl); razão de adsorção de sódio (RAS) e classe. A classificação da água foi realizada de acordo com o determinado por Richards (1954). Os resultados da análise da água residuária se encontram no Quadro 4.

Quadro 4. Caracterização química do efluente tratado utilizado no primeiro cultivo

pH	CE dS m ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	RAS*	Classe
		mmol _e L ⁻¹									
7,28	1,32	0,87	3,41	6,14	0,53	0	0	8,26	5,62	4,20	C3S1

*Razão de adsorção de sódio:
$$RAS = \frac{Na}{\frac{Ca+Mg}{2}}$$

3.4. Caracterização química do solo

Ao final do primeiro ciclo de cultivo foram realizadas análises para fins de caracterização do solo cultivado no presente experimento.

Mediante utilização de um trado do tipo calador foram coletadas amostras de aproximadamente 60 cm³ de solo em cada um dos 36 vasos cultivados com gergelim em primeiro ciclo. Doze amostras compostas de solo (uma por tratamento) foram formadas por meio da junção das amostras referentes às três repetições de cada um dos tratamentos.

O solo das amostras compostas foi secado ao ar, peneirado em malha de 2 mm e encaminhado para Laboratório a fim de que se determinasse os seguintes parâmetros químicos: pH; acidez potencial; acidez trocável; concentrações trocáveis de cálcio, magnésio, sódio, potássio e sulfatos; concentração de fósforo assimilável; teor de matéria orgânica; concentrações de cobre, ferro, manganês e zinco. As análises foram realizadas de acordo com metodologia determinada pela Embrapa (1997).

A caracterização química dos solos ao final do primeiro ciclo de cultivo em função dos tratamentos aplicados pode ser observada nos Quadros 5 e 6, para os tratamentos que haviam sido irrigados com água potável e, nos Quadros 7 e 8, para os tratamentos que receberam água residuária doméstica tratada.

Quadro 5. Resultado da análise de fertilidade do solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água potável

Dose torta Ton ha ⁻¹	pH	P	S	K	Na	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	M.O.
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³								%
0	5,90	7,45	13,78	92,70	0,20	1,55	1,15	1,24	0,05	3,14	4,38	71,7	11,11
2	4,82	9,85	10,89	105,67	0,23	1,25	0,55	1,98	0,05	2,30	4,28	53,8	5,32
3	4,80	13,75	11,94	86,81	0,19	1,50	0,75	1,82	0,05	2,67	4,48	59,5	4,80
4	4,88	17,79	11,59	96,24	0,20	1,60	0,65	2,06	0,05	2,71	4,77	56,7	6,04
5	4,98	20,78	10,45	93,88	0,20	1,40	0,65	2,06	0,05	2,49	4,56	54,7	5,73
NPK	4,49	22,21	13,52	90,35	0,20	1,00	0,40	2,48	0,15	1,83	4,31	42,5	4,80

Quadro 6. Teores de cobre, ferro manganês e zinco no solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água potável

Dose de torta Ton ha ⁻¹	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³			
0	< LDA*	4,93	6,24	0,61
2	< LDA	8,59	13,84	0,33
3	< LDA	9,55	18,64	0,43
4	< LDA	9,65	16,38	0,39
5	< LDA	9,68	17,55	0,52
NPK	< LDA	13,52	13,09	0,73

*<LDA: menor que o limite de detecção do aparelho

Quadro 7. Resultado da análise de fertilidade do solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água residuária

Dose torta Ton ha ⁻¹	pH	P	S	K	Na	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	M.O.
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³								%
0	5,19	16,03	11,85	84,45	0,19	1,25	1,00	1,49	0,00	2,66	4,14	64,1	5,94
2	4,72	12,19	12,29	108,03	0,24	1,20	0,70	2,23	0,05	2,42	4,64	52,0	5,42
3	5,18	20,65	11,59	99,78	0,21	1,60	1,40	1,82	0,00	3,47	5,29	65,7	6,04
4	5,15	23,06	12,55	125,72	0,28	1,65	0,75	1,65	0,00	3,01	4,66	64,6	6,56
5	4,94	30,61	14,92	69,12	0,16	1,30	0,75	1,90	0,05	2,39	4,29	55,7	5,73
NPK	4,71	22,28	24,29	109,21	0,25	1,00	0,70	2,23	0,10	2,23	4,46	50,0	5,01

Quadro 8. Teores de cobre, ferro manganês e zinco no solo em função dos tratamentos aplicados em primeiro ciclo, para os tratamentos irrigados com água residuária

Dose de torta Ton ha ⁻¹	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³			
0	< LDA	7,15	15,79	0,39
2	< LDA	8,06	14,58	0,50
3	< LDA	6,18	16,72	0,64
4	0,04	9,10	13,97	0,57
5	< LDA	11,84	17,22	0,58
NPK	< LDA	14,25	15,90	0,72

*<LDA: menor que o limite de detecção do aparelho

De acordo com a classificação proposta por Alvarez V. et al. (1999), o solo dos tratamentos irrigados com água potável apresentava, ao final do primeiro ciclo, teores muito baixo a baixo para fósforo (P), bom para potássio (K) e muito bom para matéria orgânica (MO) (Quadro 5). Entre os tratamentos irrigados com água residuária, os teores dos mesmos parâmetros químicos foram considerados como baixo a médio, bom a muito bom e muito bom, respectivamente (Quadro 7).

3.5. Cultura utilizada

Como cultura indicadora do efeito residual em segundo ciclo, utilizou-se a cultivar de algodão herbáceo BRS Camaçari, lançada no ano de 2004 pela Embrapa Algodão. A cultivar apresenta alta resistência a problemas ocasionados por diversas viroses, sendo indicada para o cultivo em áreas do semi-árido nordestino, tendo sido testada e validada durante quatro safras, a partir de 1999, em lavouras comerciais do Centro-Oeste, Ceará e Piauí, obtendo produtividade média em caroço em torno de 4.024 kg ha⁻¹ e produtividade de fibras de até 1.630 kg fibra ha⁻¹. Em condições de cerrado o ciclo da cultivar é de, em média, 170 dias, enquanto no semi-árido nordestino é de 150 dias. (Embrapa, 2004).

O plantio foi realizado no dia 25 de agosto de 2008 (aproximadamente 60 dias após a coleta das plantas de gergelim) semeando-se 5 sementes de algodão por vaso de solo, sem realização de fertilização química ou orgânica, a fim de avaliar o efeito residual proveniente da adubação anterior.

3.6. Tratos culturais

Dez dias após a semeadura foi feito o desbaste deixando-se uma planta por vaso. Foram realizados o manejo de pragas e doenças e o controle manual de plantas daninhas visando permitir o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas de algodão.

3.7. Determinação das lâmiuas e coutrole da irrigação

Após a completa emergência das plântulas, que ocorreu aos 30 dias após a emergência, a irrigação foi realizada diariamente com reposição da evapotranspiração da cultura, de acordo com a equação abaixo:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Em que:

ETc = Evapotranspiração da cultura, em mm dia^{-1} ;

ETo = Evapotranspiração de referência, em mm dia^{-1} ;

Kc = coeficiente de cultivo

A ETo foi calculada pelo método do Tanque Classe "A", a partir dos dados meteorológicos obtidos pela estação meteorológica do INMET situada no município de Campina Grande, PB, sob as seguintes coordenadas geográficas: 7°23' S e 35°91' W e altitude de 548 m, como se segue:

$$ETo = Kp \times EV$$

Em que:

Kp = coeficiente de tanque;

EV = evapotranspiração do tanque, em mm dia^{-1}

Adotou-se um coeficiente de tanque de 0,75, de acordo com as características da estação meteorológica (Allen et al., 1998). Foram utilizados os coeficiente de cultivo semanais determinados por Azevedo et al. (1993) para cultivares precoces de algodoeiro herbáceo no estado da Paraíba, de acordo com o Quadro 9.

Quadro 9. Coeficiente semanal de cultura para o algodoeiro de ciclo médio estimado pelo método do Tanque Classe “A”

SEMANAS																			
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª
Kc	0,36	0,47	0,57	0,67	0,75	0,82	0,88	0,93	0,97	1,00	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80

Fonte: Azevedo et al. (1993)

As fontes de água utilizadas para irrigação da cultura do algodoeiro foram: água potável de abastecimento e efluente doméstico tratado em reator UASB.

3.8. Caracterização química das águas de irrigação

O presente experimento contou com a aplicação de duas fontes distintas de água para irrigação: água potável e efluente doméstico. A água potável procedeu do sistema de abastecimento público do município de Campina Grande sendo coletada no momento das irrigações. A água residuária, proveniente da Estação de Tratamento Biológico de Esgotos (EXTRABES), foi tratada em sistema UASB (Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente) o qual remove matéria orgânica e sólidos em suspensão. Após o tratamento o efluente tratado foi armazenado em recipientes com capacidade para 60 L a fim de ser utilizado diariamente (Figura 2).



Figura 2. Reator UASB utilizado para o tratamento da água residuária utilizada no experimento

Foram coletadas amostras das duas fontes de água a fim de que se procedesse à sua caracterização química, com base nos seguintes parâmetros:

- pH, por potenciometria direta;
- Condutividade elétrica (CE), pelo método instrumental;
- Concentrações dos sais cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), pelo método titulométrico do EDTA;
- Concentrações de potássio (K^+) e (Na^+) pelo método fotométrico de chamas;
- Concentrações dos ânions carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) pelo método titulométrico do ácido sulfúrico;
- Concentração de cloretos (Cl^-) pelo método argentométrico.

A partir dos dados obtidos calculou-se a razão de adsorção de sódio (RAS). A caracterização química das duas fontes de água – potável (AP) e residuária (AR) utilizadas para irrigação do algodoeiro durante o período experimental, se encontra no Quadro 10.

Quadro 10. Caracterização química das duas fontes de água – potável (AP) e residuária tratada (AR) – utilizadas para irrigação

	pH	CE dS m^{-1}	Ca	Mg	Na	K	SO_4	CO_3	HCO_3	Cl^-	RAS*	Classe
			----- mg L^{-1} -----									
AP	7,20	0,54	12,50	21,60	59,00	3,80	presente	0,0	18,00	131,40	3,31	C2S1
AR	8,30	2,09	89,42	67,31	202,63	34,41	presente	0,0	911,83	328,38	5,58	C3S1

*Razão de adsorção de sódio:
$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

A água residuária utilizada apresenta teores mais elevados de sais solúveis, enquadrando-se na classe de água com salinidade alta (C3) de acordo com a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos – USDA (Richards, 1954; Bernardo et al., 2008). A água potável se enquadra na classe C2, de salinidade média. Com relação ao perigo de sodificação, ambas as fontes de água se enquadram na classe S1, podendo ser utilizadas para irrigação em quase todos os tipos de solo, com pequena possibilidade de alcançar níveis indesejados de sódio trocável.

A caracterização da água residuária também levou em conta as seguintes características: pH; acidez total; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda

química de oxigênio (DQO); nitrogênio amoniacal e sólidos suspensos totais. Os valores médios destes parâmetros químicos determinados semanalmente no efluente doméstico tratado se encontram no Quadro 11.

Quadro 11. Concentrações médias de pH, alcalinidade total (AT), demandas bioquímica (DBO) e química (DQO) de oxigênio e nitrogênio amoniacal no efluente

	pH	AT	DBO	DQO mg L ⁻¹	N-NH ₄	SST
VP*	7,8-8,1	200-700	10-80	30-160	0-10	10-100
AR	7,69 ± 0,24	476,8 ± 41,4	82,4 ± 53,4	320,4 ± 124,9	75,4 ± 11,8	41,0 ± 21,2

*VP: Faixa padrão de valores para efluentes municipais secundários (Feigin, 1991)

3.9. Parâmetros avaliados

Avaliaram-se, durante a etapa experimental (segundo cultivo) os parâmetros citados a seguir, segundo a metodologia proposta.

3.9.1. Análises químicas do solo

Após o término do experimento em segundo cultivo foram determinadas as características químicas do solo com o intuito de verificar as alterações ocorridas durante o ciclo do algodão. Para isto, coletaram-se amostras de cada uma das 36 unidades experimentais mediante utilização de trado calador, até a profundidade de 15 cm em quatro diferentes pontos do vaso.

O solo das amostras foi secado ao ar, peneirado em malha de 2 mm e encaminhado para Laboratório a fim de que se determinassem os seguintes parâmetros:

- pH (acidez atual), determinado pelo método potenciométrico em água;
- Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), obtida por meio de extração com solução de acetato de potássio tamponado a pH 7,0 seguida de titulação com solução de NaOH;
- Acidez trocável (Al^{3+}), obtida por meio da extração com solução de cloreto de potássio não tamponado;
- Concentrações trocáveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), por meio de titulação com EDTA após extração por solução de KCl;

- Concentração de fósforo assimilável (P), obtida por meio de extração com solução de Mehlich-1, seguida de colorimetria e espectrofotometria;
- Concentrações trocáveis de potássio (K^+) e sódio (Na^+), determinadas por fotometria de chama após extração com solução de Mehlich-1;
- Concentração de sulfato trocável ($S-SO_4^{2-}$) por meio de extração com solução de fosfato monocálcico, seguido de turbidometria;
- Matéria orgânica, determinada por titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal após oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (método de Walkley-Black);
- Concentração de boro disponível (B), realizada por extração com água quente e posterior determinação por espectrofotometria UV-VIS com cureumina;
- Concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), obtidas por meio da extração com solução de Mehlich-1 seguida de espectrofotometria de absorção atômica;
- pH no extrato saturado (pHes) por potenciometria direta;
- Condutividade elétrica no extrato saturado (CEes) por meio do uso de condutivímetro.

3.9.2. Teores de nutrientes no tecido foliar

Com o objetivo de avaliar o estado nutricional do algodoeiro ao final do experimento, o tecido de todas as folhas de cada planta foi coletado, secado em estufa de circulação forçada a 65°C, triturado e encaminhado ao Laboratório de Análise de Tecido da Planta da UFPB a fim de que fossem determinadas as concentrações foliares dos seguintes elementos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), por digestão com H_2O_2 e H_2SO_4 ; enxofre (S), sódio (Na), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), por digestão com HNO_3 e $HClO_4$.

3.9.3. Variáveis de crescimento da cultura

A fim de observar o desempenho dos tratamentos sobre o aspecto vegetativo das plantas, realizaram-se avaliações a cada 20 dias, quando se mensurou a altura das plantas, a

área foliar e o número de folhas.

A altura da planta foi determinada em centímetros, desde o colo da planta até a extremidade do broto terminal. Na contagem direta do número de folhas e na estimativa da área foliar, foram consideradas apenas as folhas que se apresentavam completamente abertas, com pelo menos 3 cm de comprimento.

A área foliar individual foi estimada por meio de medidas lineares do comprimento da nervura principal das folhas, conforme equação abaixo, proposta Grimes & Carter, (1969):

$$Y = 0,4322 X^{2,3002}$$

Em que:

Y = Área foliar folha⁻¹, expressa em cm²;

X = Comprimento da nervura principal da folha, expresso em cm.

3.9.4. Determinação indireta do teor de nitrogênio

O teor relativo de nitrogênio foliar foi determinado por meio de um medidor portátil de clorofila – Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) – o qual fornece leituras que se correlacionam com os teores de clorofila e nitrogênio presentes na folha (Swiader & Moore, 2002).

Foram realizadas 3 leituras SPAD na quinta folha totalmente expandida a partir do ápice das plantas de algodão em cada uma das unidades experimentais.

A equação: $y = 9,46 - 0,04X + 0,008X^2$; onde X é a leitura obtida pelo medidor portátil de clorofila, foi utilizada para transformar as leituras SPAD em teores de nitrogênio em g kg⁻¹, no tecido foliar das plantas de algodoeiro herbáceo, de acordo com metodologia proposta por Brito et al. (2009).

3.9.5. Massa seca das plantas

Ao final do experimento as plantas foram coletadas, separadas em parte aérea e raiz, higienizadas, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e colocadas em estufas de ventilação forçada a temperatura de 65°C até atingirem peso constante. Em seguida, determinou-se a massa seca das raízes e da parte aérea de cada planta, por meio de pesagem direta.

3.9.6. Variáveis de rendimento da cultura

Por ocasião da etapa de colheita do experimento a produção do algodoeiro foi avaliada com base nas seguintes variáveis: número de capulhos por planta; massa de um capulho; massa de eem sementes; percentual de fibra e sementes e teor de óleo nas sementes.

Os capulhos coletados foram contados e sua massa determinada com a finalidade de se obter o número de capulhos por planta e fornecer informações para o cálculo do peso médio de um capulho para cada um dos tratamentos. Separaram-se, então, as fibras das sementes, a fim de se obter o peso médio de 100 sementes e o percentual de fibras e de sementes para cada tratamento.

As sementes do algodoeiro foram encaminhadas para o Laboratório de Óleos da Embrapa Algodão, para fins de determinação do teor de óleo por meio de Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

3.10. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram tabulados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise de variância utilizando-se o software estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2006).

Na ocorrência de interação entre os fatores, curvas de regressão polinomial foram ajustadas às doses de torta de mamona, separadamente, para cada qualidade de água utilizada.

Visando à comparação dos tratamentos adicionais com os demais, foram realizados contrastes entre o grupo de tratamentos adicionais e o grupo de tratamentos do arranjo fatorial. Foram também realizados contrastes entre os dois tratamentos adicionais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características químicas do solo após o cultivo

4.1.1. Acidez do solo e matéria orgânica

Para avaliar as características de acidez do solo são considerados: os tipos de acidez – ativa (pH) e trocável (Al^{3+}); a saturação por alumínio e por bases, a capacidade tampão, estimada por meio da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), e o teor de matéria orgânica. A acidez do solo se relaciona também com a disponibilidade de bases e a capacidade de troca catiônica (Alvarez V. et al., 1999).

Observa-se, na Tabela 1, o resumo da análise de variância para as variáveis de acidez do solo após o cultivo do algodoeiro. Os teores de Al^{3+} e, conseqüentemente, de saturação por alumínio, foram nulos para todas as unidades experimentais e, portanto, não constam do quadros de análise e de médias.

Constatou-se efeito significativo da qualidade de água para todas as variáveis, com exceção do teor de matéria orgânica do solo. Em contrapartida, o teor de MO foi o único influenciado pela dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo. Observou-se também significância dos contrastes ‘Fatorial vs Adicionais’ e ‘Entre Adicionais’ para pH e $H + Al$. A CTC_{pH7} não foi afetada por nenhum dos fatores testados.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para pH, CTC a pH7, soma de bases, saturação por bases e teores de ($H^+ + Al^{3+}$) e matéria orgânica do solo ao final do experimento

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		pH	($H^+ + Al^{3+}$)	M.O.	CTC_{pH7}	SB	Sat.Bases
Qualidade de água (A)	1	1,9661**	1,2424**	0,0413 ^{ns}	0,3280 ^{ns}	2,8470**	1446,6506**
Dose de torta de mamona (D)	4	0,0832 ^{ns}	0,0479 ^{ns}	2,4883**	0,0878 ^{ns}	0,0842 ^{ns}	47,9620 ^{ns}
A x D	4	0,3241 ^{ns}	0,0706 ^{ns}	0,5189 ^{ns}	0,0301 ^{ns}	0,0369 ^{ns}	60,2951 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	2,2557**	1,3436**	1,7017 ^{ns}	0,6273 ^{ns}	0,1348 ^{ns}	331,1293 ^{ns}
Entre Adicionais	1	0,8437**	0,1251**	0,4367 ^{ns}	0,0632 ^{ns}	0,3660 ^{ns}	2,9504 ^{ns}
Tratamentos	11	0,6086**	0,2895**	1,2916 ^{ns}	0,1354 ^{ns}	0,3484*	201,2508*
Resíduo	24	0,0824	0,0720	0,5990	0,1733	0,1274	88,6425
Total	35						
CV (%)		4,74	49,93	15,16	12,99	13,38	11,14

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Os valores médios para cada variável avaliada em função dos fatores estudados se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de pH, CTC a pH7, soma de bases, saturação por bases e teores de $(H^+ + Al^{3+})$ e matéria orgânica do solo ao final do experimento

Fatores	pH	$(H^+ + Al^{3+})$ ($cmol_c\ dm^{-3}$)	M.O. ($g\ Kg^{-1}$)	CTC _{pH7} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	SB ($emol_c\ dm^{-3}$)	Sat.Bases (%)
Dose de torta de mamoua						
0 ton ha^{-1}	6,33	0,39	4,55	3,16	2,81	89,17
2 ton ha^{-1}	6,13	0,63	4,74	3,14	2,58	82,00
3 ton ha^{-1}	6,08	0,39	5,33	3,03	2,64	88,07
4 ton ha^{-1}	6,07	0,51	5,19	3,34	3,01	85,00
5 ton ha^{-1}	6,27	0,45	6,20	3,06	2,61	84,98
Fonte de água						
Água potável (AP)	5,92 b	0,65 a	5,17 a	3,04 a	2,39 b	78,93 b
Água residuária (AR)	6,43 a	0,29 b	5,24 a	3,25 a	3,07 a	92,82 a
Fatorial vs Trat. Adicionais						
Fatorial	6,17 a	0,47 b	5,20 a	3,15 a	2,73 a	85,84 a
Tratamentos adicionais	5,50 b	0,97 a	4,62 a	3,50 a	2,53 a	72,05 a
Tratamentos Adicionais						
NPK + AP	5,13 b	1,11 a	4,89 a	3,40 a	2,28 a	67,05 a
NPK + AR	5,88 a	0,83 a	4,35 a	3,60 a	2,78 a	77,04 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

Observa-se que a acidez potencial, determinada pela concentração de $(H^+ + Al^{3+})$ no solo, foi afetada apenas pela fonte de água aplicada, apresentado teores três vezes mais elevados quando a irrigação foi realizada com água de abastecimento. Estes resultados concordaram com o valor médio de pH do solo o qual, apesar de considerado como bom para agricultura em ambos os casos (Alvarez V. et al., 1999), mostrou-se mais ácido quando da aplicação de água potável. Este fato pode ser atribuído ao pH alcalino da água residuária aplicada, além da presença de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) que, ao serem disponibilizados ao solo, competem com os cátions de natureza ácida, como Al e H no complexo sortivo do solo.

Quanto aos teores de alumínio trocável (Al^{3+}), não se constatou sua presença no solo após o cultivo, o que era esperado, uma vez que, conforme Sousa et al. (2007), em solos com valores de pH superiores a 5,5, o Al se encontra hidrolisado, sendo precipitado na forma de $Al(OH)_3$.

Medeiros et al. (2005), estudando os efeitos da aplicação de diferentes lâminas de água residuária doméstica nas características químicas do solo, constataram que, em comparação ao manejo convencional (calagem + irrigação com água de represa), o manejo com água residuária foi mais efetivo no aumento do pH do solo em todas as faixas de

profundidade monitoradas. Resultados semelhantes foram obtidos por Fonseca (2001) e Garcia et al. (2008), confirmando a capacidade de elevação de pH dos efluentes secundários.

Apesar da elevada carga orgânica geralmente presente em águas residuárias de origem doméstica observou-se, no presente experimento, que a utilização de efluente de esgoto para irrigação não resultou em maiores teores de MO no solo após o cultivo (Tabela 2). Isto ocorreu, provavelmente, devido às elevadas concentrações de nitrogênio orgânico e carbono presentes nos efluentes secundários que podem ter favorecido a proliferação, no solo, de microrganismos que promovem a decomposição do nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável pelas plantas (Feigin et al., 1991).

Em relação à adubação com torta de mamona, verificou-se que o teor de MO no solo após o cultivo sofreu incremento linear de 0,29 g kg⁻¹ para cada aumento de uma tonelada do adubo orgânico aplicado no primeiro cultivo, até a dose de 5 ton ha⁻¹ (Figura 3), denotando o efeito residual da torta de mamona no solo. Estes resultados se mostram ainda mais relevantes ao se considerar que o segundo cultivo foi realizado com uma cultura altamente exigente em N e após um período de três meses de pousio.

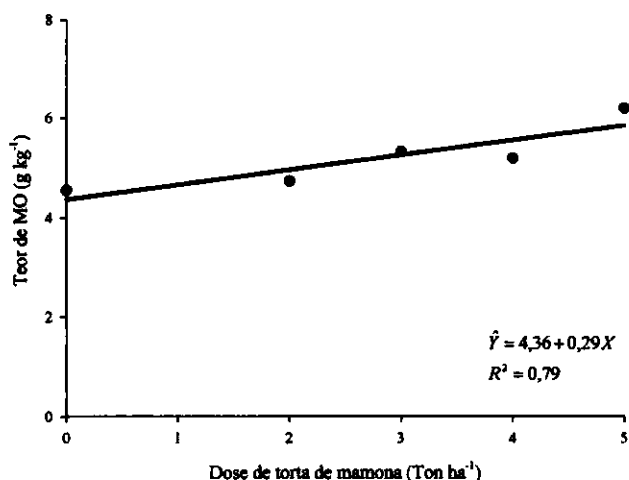


Figura 3. Teor de matéria orgânica no solo (g kg⁻¹) em função da dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo

Estudos sobre a velocidade de mineralização da torta de mamona demonstram que, em média, 75 a 100% do nitrogênio são nitrificados em três meses após sua incorporação ao solo (Bon, 1977). Severino et al. (2004), por meio da técnica de medição da respiração

microbiana, determinaram que a velocidade de mineralização da torta de mamona é cerca de seis vezes mais rápida que a do esterco bovino e 14 vezes mais rápida que o bagaço de cana. No entanto, deve-se considerar que parte do N presente em adubos orgânicos resiste à rápida mineralização, tornando-se disponível somente às culturas subsequentes (Smith & Hadley, 1989).

A CTC, ou capacidade de troca catiônica, é o parâmetro que indica a quantidade de cátions que o solo é capaz de reter para neutralizar as cargas negativas de uma quantidade unitária de solo, em determinadas condições. A CTC efetiva (CTC_{ef}) é a quantidade de cátions trocáveis do solo nas condições da amostra, com pH normal, enquanto que a CTC potencial (CTC_{pH7}) indica as trocas catiônicas possíveis a pH 7,0, ou seja, o máximo de cargas negativas que seriam liberadas a pH 7,0 e seriam ocupadas por cátions.

Não se constataram alterações na CTC_{pH7} em função dos fatores testados. Isto era esperado, uma vez que o solo utilizado para o preenchimento dos vasos de todas as unidades experimentais foi o mesmo e a CTC potencial, por se tratar de uma característica física do solo, só poderia ser alterada após um longo período de manejo. Com relação à soma de bases, observou-se que, nos tratamentos adubados com torta de mamona, a irrigação com água residuária resultou em valores 28,5% maiores do que naqueles em que a irrigação foi realizada com água de abastecimento.

Estes resultados concordam com Garcia et al. (2008) que, estudando os efeitos da aplicação de água de despolpa dos frutos de cafeeiro conilon em solos, verificaram que, em comparação com os tratamentos em que se usou água de boa qualidade, a aplicação do efluente bruto (não diluído) proporcionou um acréscimo de aproximadamente 30% nos valores de CTC_{ef} sem, no entanto, afetar a CTC_{pH7} . Os autores constataram ainda que a soma de bases e a saturação por bases sofreram acréscimos de, em média, 60 e 75%, respectivamente, quando se aplicou o efluente de despolpa. No presente trabalho, a saturação por bases foi 17,6 % maior quando foi utilizada água residuária para irrigação (Tabela 2).

Quanto à CTC efetiva, deve-se recordar que, devido à ausência de Al^{3+} nas amostras de solo, não foi possível seu cálculo.

4.1.2. Fósforo e enxofre

Na Tabela 3 se encontra o resumo da análise de variância para os teores dos

macronutrientes fósforo (P), potássio (K), enxofre (S-SO₄²⁻), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) no solo após o cultivo do algodoeiro herbáceo, em função dos tratamentos.

Constatou-se que tanto a qualidade da água utilizada para irrigação quanto as doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo, acarretaram diferenças significativas para os teores de P no solo ao final do ciclo de cultivo do algodoeiro. Observaram-se, também, diferenças significativas entre os tratamentos dos contrastes 'Fatorial vs Adicionais' e 'Entre Adicionais' (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os teores de fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio, determinados no solo ao final do experimento

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		P	K	S-SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Qualidade de água (A)	1	1920,8089**	46514,9216**	31,6286 ^{ns}	0,0241 ^{ns}	0,0801 ^{ns}
Dose de torta de mamona (D)	4	127,3850**	54,3445 ^{ns}	43,9105 ^{ns}	0,0066 ^{ns}	0,0452 ^{ns}
A x D	4	11,0141 ^{ns}	20,5368 ^{ns}	109,2953 ^{ns}	0,0216 ^{ns}	0,0282 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	2716,4776**	57,0181 ^{ns}	484,5106**	0,0534 ^{ns}	0,0500 ^{ns}
Entre Adicionais	1	266,2031*	10967,0589**	22,8367 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0004 ^{ns}
Tratamentos	11	496,0987**	5258,0476**	104,7114*	0,0173 ^{ns}	0,0386 ^{ns}
Resíduo	24	36,0056	239,4304	46,0346	0,0337	0,0339
Total	35					
CV (%)		28,33	17,31	30,21	12,28	27,96

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, é possível verificar que a aplicação de água residuária doméstica promoveu incrementos significativos nos teores de P assimilável do solo. Entre os tratamentos que contavam com o efeito residual da torta de mamona e do adubo mineral os teores do nutriente foram, respectivamente, 172% e 39% maiores que o observado para os tratamentos irrigados com água potável.

Elevações nos teores de P em solos irrigados com águas residuárias, têm sido observadas por diversos pesquisadores sendo esses incrementos notados principalmente na camada superficial de solos jovens.

Jahantigh (2008) e Gwenz & Munondo (2008), estudando os impactos da utilização de efluentes domésticos na irrigação de forrageiras em solos arenosos do Irã e do Zimbábue constataram que, em comparação com a irrigação com água superficial, os solos irrigados ao longo de vários anos com água residuária apresentaram teores de P até 88% e 400% maiores, em especial na camada mais superficial do solo.

Em contrapartida, Heidarpour et al. (2007) observaram que a aplicação de efluente de esgoto em solo argiloso (71% argila, 27% de silte e 2% de areia) não afetou de forma

significativa os teores de P em nenhuma das camadas de solo estudadas. Esta divergência de resultados se deve principalmente ao teor de argila nos solos. Sabe-se que a fração argila é a principal característica que define o solo como fonte ou dreno de P. Em solos muito intemperizados o aumento do teor de argila fará com que o P seja mais retido à fase sólida do solo tornando-se, conseqüentemente, menos disponível para as plantas (Novais et al., 2007). Somado a isto tem-se que o teor de P disponível varia com o pH dos solos, obtendo-se maiores taxas quando o pH se encontra entre 6,0 e 6,5 (Garcia et al., 2008). Uma vez que as águas residuárias atuam elevando o pH dos solos, o P estará mais solúvel (e, portanto, mais disponível) em solos irrigados com efluentes que naqueles em que se aplica água de abastecimento.

Tabela 4. Teores médios de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S-SO₄²⁻), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) determinados no solo em função dos tratamentos aplicados

Fatores	P (mg dm ⁻³)	S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)
Dose de torta de mamoua					
0 ton ha ⁻¹	11,33	21,79	93,38	1,55	0,73
2 ton ha ⁻¹	15,98	18,03	86,41	1,47	0,63
3 ton ha ⁻¹	16,37	18,75	86,80	1,49	0,64
4 ton ha ⁻¹	18,82	24,85	87,13	1,53	0,80
5 ton ha ⁻¹	23,96	20,66	90,47	1,52	0,58
Fonte de água					
Água potável (AP)	9,29 b	19,79 a	49,46 b	1,48 a	0,62 a
Água residuária (AR)	25,29 a	21,84 a	128,21 a	1,54 a	0,73 a
Fatorial vs Trat.					
Adicionais					
Fatorial	17,29 b	20,82 b	88,84 a	1,51 a	0,68 a
Tratamentos adicionais	40,60 a	30,66 a	92,21 a	1,41 a	0,58 a
Tratamentos					
Adicionais					
NPK + AP	33,94 b	28,71 a	49,46 b	1,42 a	0,57 a
NPK + AR	47,26 a	32,61 a	134,97 a	1,40 a	0,58 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

No que diz respeito às fontes de fertilizantes aplicadas ao solo no primeiro ciclo de cultivo, observou-se que os maiores teores de P corresponderam aos tratamentos que haviam recebido adubo mineral (Tabela 4). Os tratamentos adicionais com adubação mineral apresentaram teor médio de P disponível no solo considerados, por Alvarez V. et al. (1999) bom para a agricultura (40,60 mg dm⁻³), enquanto os tratamentos que contaram apenas com adubação residual com torta de mamona apresentaram teor considerado baixo (17,29 mg dm⁻³) em função do teor de argila do solo. Infere-se que a adubação de fundação

contribuiu para elevar a concentração deste nutriente a níveis muito mais altos do que aqueles obtidos por meio da aplicação do efluente doméstico.

Com relação ao efeito das crescentes doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo, pode-se observar na Figura 4, que resultaram em incremento linear nos teores de P assimilável do solo ao final do experimento, com um acréscimo de $2,30 \text{ g dm}^{-3}$ de P para cada tonelada de torta de mamona aplicada.

Fosfatos adicionados ao solo por meio de fertilizantes, orgânicos ou minerais, se dissolvem e passam para a solução do solo. Devido à baixa solubilidade dos compostos de fósforo e à forte tendência de adsorção pelo solo, apenas uma pequena fração do P aplicado se torna prontamente disponível para absorção radicular, enquanto a maior parte passa para a fase sólida do solo, onde fica como fosfato lábil, passando, gradativamente a fosfato não-lábil, o que ocasiona o efeito residual (Rajj, 1991).

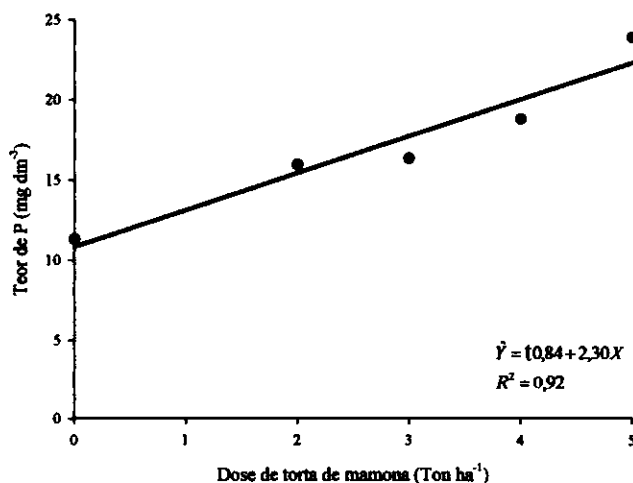


Figura 4. Teor de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função da dose de torta de maraona aplicada no primeiro ciclo de cultivo

O potencial e as taxas de ressolubilização do P-lábil resultam da interação entre vários fatores, tais como: tipo de solo; fonte de adubo fosfatado; dose e método de aplicação utilizados; sistema de preparo do solo e sequência de cultivos (Sousa et al., 2006). Solos com baixos teores de argila, como o utilizado no presente estudo, em geral apresentam menor capacidade de retenção de fósforo e, por isso, suas taxas de disponibilização de P para a solução do solo são maiores. Isto explica a maior ocorrência de efeito residual em regiões de solo arenoso.

Em referência aos níveis de enxofre observou-se, ao final do experimento, que os teores do nutriente no solo sofreram influência apenas da natureza do fertilizante aplicado na ocasião do primeiro cultivo (Tabela 3). Os tratamentos adubados com fertilizante mineral apresentaram teores de S em média 47% maiores que nos solos fertilizados com torta de mamona. Convém ressaltar que a adubação dos tratamentos adicionais foi realizada mediante a aplicação de 67 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, 330 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 290 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, tendo os dois últimos fertilizantes proporcionado, ao solo, um aporte de aproximadamente 109 kg ha⁻¹ de S.

De acordo com Alvarez V. et al. (2007), dependendo do pH e dos teores de fósforo e matéria orgânica do solo, o sulfato presente na solução do solo pode ser prontamente absorvido pelas plantas, ser perdido por lixiviação, sofrer processo de imobilização pela matéria orgânica ou ser adsorvido aos colóides do solo, como foi observado no presente experimento.

Trabalhos relacionados à aplicação de águas residuárias em cultivos agrícolas geralmente não focam o nutriente enxofre pois, na maioria dos estudos, as concentrações de SO₄²⁻ verificadas são similares tanto nas águas superficiais e de abastecimento quanto nos efluentes domésticos (Duarte, 2006). Assim, pode-se afirmar que o S adicionado ao solo via adubação mineral foi superior ao aporte proporcionado pelas duas fontes de água de irrigação utilizadas, uma vez que as mesmas não alteraram a concentração de sulfato no solo.

4.1.3. Potássio, cálcio e magnésio

A análise de variância revelou que os tratamentos não acarretaram diferenças significativas a 5% de probabilidade nos teores de cálcio e magnésio trocáveis no solo. No que diz respeito ao teor de potássio trocável, observou-se diferença significativa apenas das qualidades de água de irrigação, inclusive entre os tratamentos adicionais (Tabela 3).

Observa-se, de acordo com a Tabela 4, que o teor médio de K no solo foi igual a 49,46 mg dm⁻³ nos tratamentos irrigados com água potável, tanto quando a adubação foi realizada com fertilizante mineral, quanto com adubo orgânico. No entanto, quando a irrigação se deu com efluente doméstico, o teor médio deste nutriente foi cerca de 2,7 vezes maior, alcançando valores de 128,21 e 134,97 mg dm⁻³ para a adubação com torta de mamona e fertilizante químico, respectivamente. A irrigação com água residuária elevou o

teor de K no solo de médio para muito bom, de acordo com a classificação de Alvarez V., et al. (1999). Este resultado é decorrente da elevada concentração de potássio presente na água residuária utilizada (34,41 mg L⁻¹) a qual era cerca de nove vezes mais alta que o observado na água de abastecimento (3,80 mg L⁻¹) (Quadro 10).

Estudos acerca da dinâmica do potássio em solos irrigados com águas residuárias domésticas têm obtido resultados divergentes devido às intrincadas relações deste nutriente com o sistema efluente-solo-planta e com os demais elementos do complexo sortivo do solo, em especial Na e Ca (Levy & Feigenbaum, 1996; Smiles & Smith, 2004).

Heidarpour et al. (2007), ao analisarem solos que receberam, mediante irrigação, efluente doméstico tratado com teor de K semelhante ao utilizado neste estudo, verificaram maior teor de potássio destes solos quando em comparação com os tratamentos irrigados com água de poço. Resultados semelhantes foram obtidos também por Al-Nakshabadandi et al., 1997; Agunwanba, 2001; Adekalu & Okunade, 2002 e Mohammad & Mazahreh, 2003, corroborando com o observado no presente estudo.

Em contrapartida, Gwenzi & Munondo (2008) e Duarte et al. (2008) não verificaram diferença nos teores deste nutriente quando o solo foi irrigado com as diferentes fontes de água. Enquanto Karlen et al. (1976) e Stewart et al. (1990) observaram redução de K no solo em função da aplicação de efluente de esgoto.

Estudos têm sido conduzidos com a finalidade de relacionar as reações de troca de K⁺ por Ca²⁺, Mg²⁺ ou Na⁺ em minerais de argila. Galindo & Bingham (1997) observaram que os íons Ca e Mg são seletivamente adsorvidos em relação ao potássio enquanto que Levy & Feigenbaum (1996) notaram que o solo absorvia preferencialmente o K em relação ao Ca, Mg e Na. De fato, as reações de troca e conseqüente disponibilização/adsorção do K no complexo de troca do solo em relação aos cátions Ca, Mg e Na ainda não são claras, constituindo uma importante fonte de estudos (Arienzo et al., 2009).

Com relação aos teores de Ca e Mg trocáveis no solo, mencionado anteriormente, a análise de variância (Tabela 3) mostrou não haver diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Estes resultados concordam com o encontrado por Duarte (2006), que irrigou pimentão com água potável e efluente de esgoto tratado mediante três diferentes processos e observou que, em seis meses de cultivo, não houve alterações nos teores de Ca e Mg do solo cultivado.

Leal et al. (2009) cultivaram cana-de-açúcar irrigada com água residuária tratada em área que antes do início do experimento já vinha recebendo este efluente há dois anos e constataram que, ao final do ciclo da cultura, os incrementos de Ca e Mg trocáveis no solo foram de pequena magnitude. Por sua vez, Gwenzi & Munondo (2008) observando o efeito da irrigação com água residuária em pastagens ao longo de 26 anos, constataram elevação significativa nos teores de Ca e Mg, em comparação com os solos em que se aplicou água de abastecimento.

Esses resultados sustentam que, para que haja mudanças nas características químicas do solo, são necessários vários anos de irrigação com efluente, pois a dinâmica dos nutrientes no complexo de troca do solo ocorre de forma muito lenta (Kouraa et al.; 2002).

4.1.4. Boro, ferro, manganês e zinco

Observa-se na Tabela 5 o resumo da análise de variância para os micronutrientes ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) do solo após o cultivo do algodoeiro. Os teores de boro (B) ficaram abaixo dos limites de detecção em todas as unidades experimentais e, portanto, não constam das tabelas de análise e de médias.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os teores de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) trocáveis determinados no solo ao final do ciclo do algodão

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Fe	Mn	Zn
Qualidade de água (A)	1	41,41875**	1,90638 ^{ns}	8,46149*
Dose de torta de mamona (D)	4	11,68864**	0,58449 ^{ns}	2,06151 ^{ns}
A x D	4	6,19493 ^{ns}	0,25871 ^{ns}	1,32904 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	75,97202**	0,00824 ^{ns}	3,78668 ^{ns}
Entre Adicionais	1	7,59375 ^{ns}	1,04584 ^{ns}	0,02734 ^{ns}
Tratamentos	11	17,86535**	0,57575 ^{ns}	2,34888 ^{ns}
Resíduo	24	3,54818	0,53345	1,35161
Total	35			
CV (%)		26,03	26,72	40,40

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Constatou-se efeito significativo da qualidade de água para os micronutrientes ferro e zinco. A dose de torta de mamona aplicada no primeiro cultivo afetou, de forma significativa, os teores de Fe, tendo sido observado também diferença significativa entre os tratamentos do contraste 'Fatorial vs Adicionais' para este nutriente. Os tratamentos não

acarretaram diferenças significativas nos teores de manganês no solo após o cultivo do algodoeiro.

Não se detectou a presença de boro disponível no solo após o cultivo do algodoeiro herbáceo. Este resultado pode ser atribuído ao baixo teor de B no solo aliado à elevada capacidade de extração do nutriente pelo algodoeiro. De acordo com Malavolta (1980), o teor médio de B disponível em solos brasileiros varia entre 0,06 e 0,5 mg kg⁻¹. Em situações nas quais o pH do solo varia entre 5,0 e 7,0, como ocorrido neste experimento, quase todo o boro do solo se encontra em sua forma solúvel (H₃BO₃) podendo ser facilmente absorvido pelo sistema radicular das plantas (Abreu et al., 2007). Esta hipótese é reforçada pelo fato de que os teores foliares de boro nas plantas de algodoeiro se encontrarem dentro do intervalo entre 40 a 100 mg kg⁻¹ considerado, por Galvão (2002), adequado para o algodoeiro herbáceo (Tabela 12), o que leva a crer que o B presente no solo foi suficiente para nutrir adequadamente as plantas.

Na Tabela 6 são apresentados os teores médios dos micronutrientes Fe, Zn e Mn trocáveis no solo após o cultivo do algodoeiro.

Tabela 6. Teores médios de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) trocáveis determinados no solo, ao final do ciclo do algodão

Fatnes	Fe (mg dm ⁻³)	Mn (mg dm ⁻³)	Zn (mg dm ⁻³)
Dose de torta de mamona			
0 ton ha ⁻¹	5,68	2,31	3,42
2 ton ha ⁻¹	5,53	2,51	3,54
3 ton ha ⁻¹	5,63	2,80	2,43
4 ton ha ⁻¹	7,50	2,97	2,34
5 ton ha ⁻¹	8,61	3,05	3,38
Fonte de água			
Água potável (AP)	7,76 a	2,47 a	2,49 b
Água residuária (AR)	5,41 b	2,98 a	3,55 a
Fatorial vs Trat. Adicionais			
Fatorial	6,59 b	2,73 a	3,02 a
Tratamentos adicionais	10,49 a	2,77 a	2,15 a
Tratamentos Adicionais			
NPK + AP	11,61 a	2,35 a	2,22 a
NPK + AR	9,36 a	3,19 a	2,09 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

Verificou-se que os teores de Fe no solo foram afetados não só pela qualidade da água de irrigação mas também pela dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo. Observa-se que os tratamentos irrigados com água de abastecimento público apresentaram teores médios de Fe 43% maiores que aqueles irrigados com água residuária

tratada. No que diz respeito às fontes de fertilizante aplicadas no primeiro ciclo, constatou-se que os tratamentos submetidos à adubação química apresentaram maiores teores de Fe em relação aos adubados com torta de mamona, sendo pouco afetados pela qualidade da água aplicada.

A menor disponibilidade de Fe verificada no solo irrigado com efluente tratado se deve, provavelmente, à já mencionada capacidade do efluente doméstico em elevar o pH dos solos, interferindo diretamente na dinâmica dos micronutrientes no complexo sortivo.

De acordo com Abreu et al. (2007), a solubilidade do Fe no solo é bastante afetada pelo pH, decrescendo cerca de mil vezes para cada unidade de aumento do pH do solo, na faixa de pH de 4 a 9. Como pôde ser verificado na Tabela 2, a adição de água residuária ao solo promoveu aumento do pH, inclusive entre os tratamentos adicionais, o que justifica os menores teores de Fe trocável nessas unidades experimentais. As alterações de pH podem explicar também a diferença nos teores de Fe entre os tratamentos adubados com torta de mamona e aqueles fertilizados com adubo mineral.

Alguns estudos têm constatado a elevação na disponibilidade de Fe no solo devido à irrigação com esgotos tratados; no entanto, este efeito geralmente é verificado em condições de solo neutro a ligeiramente alcalino em que a aplicação da água residuária acarreta redução no pH do meio, elevando a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, ou devido à elevada concentração do micronutriente no efluente (Al-Nakshabandi et al., 1997; Mohammad & Mazareh, 2003; Fonseca, 2005).

No que diz respeito às doses crescentes de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo, pode-se observar, na Figura 5, que proporcionaram um incremento linear nos teores de Fe do solo denotando um possível efeito residual da torta de mamona para este micronutriente. Observou-se o acréscimo de $4,93 \text{ mg dm}^{-3}$ de Fe para cada aumento de uma tonelada por hectare de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo.

Com relação ao manganês, verificou-se que seus teores médios não diferiram significativamente entre os tratamentos, independente da qualidade de água e da fonte ou nível de adubação utilizado (Tabela 5). Os teores médios do nutriente determinados no solo se situam entre $1,3$ e $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ para todos os tratamentos, sendo considerados, por Raji et al. (2001) teores médios para a agricultura.

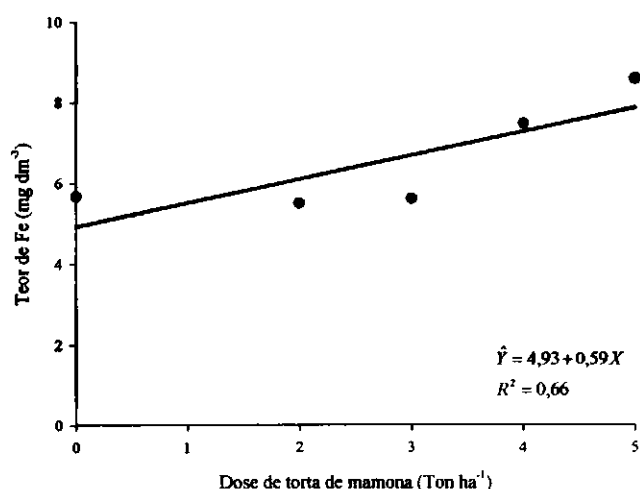


Figura 5. Teor de ferro trocável no solo (mg dm^{-3}) em função das doses residuais de torta de mamona

Estudos realizados no Brasil utilizando-se águas residuárias para irrigação obtiveram como resposta teores de Mn semelhantes aos encontrados na presente pesquisa não se tendo verificado diferença significativa no teor do referido micronutriente entre os tratamentos irrigados com efluente de esgoto e água potável (Azevedo, 2004; Fonseca, 2005; Duarte, 2006). Entretanto, em estudos conduzidos por Adekalu & Okunade (2002) na Nigéria e por Mohammad & Mazahreh (2003) na Jordânia, foi constatou-se que a aplicação de águas residuárias contribuiu para o aumento de Mn trocável no solo após o cultivo. Convém, contudo, ressaltar que, assim como para os outros elementos, os teores de manganês e o acúmulo deste nutriente no solo dependem diretamente da concentração do metal na água aplicada, do tipo de solo cultivado, da lâmina de água aplicada e do período de aplicação (Duarte, 2006).

No que diz respeito ao zinco observou-se que o emprego do efluente de esgoto tratado, quando comparado com a água de abastecimento, proporcionou elevação nos teores médios do nutriente. Em estudos semelhantes foram obtidas respostas divergentes com relação aos teores de Zn disponível no solo, verificando-se redução (Paliwal et al., 1998), elevação (Al-Nakshabandi et al., 1997; Adekalu & Okunade, 2002) ou inalteração (Mohammad & Mazahreh, 2003; Wang et al., 2003; Fonseca, 2005) nos teores deste micronutriente no solo, em função da aplicação de águas residuárias.

4.2. Avaliação do estado nutricional das plantas

A fim de avaliar o estado nutricional das plantas de algodoeiro no que diz respeito ao nitrogênio, foram determinados, aos 30, 50, 90, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas, os índices SPAD, que se relacionam com os teores foliares de nitrogênio e clorofila, de acordo com o descrito no item 3.9.4 da metodologia.

Ao final dos 130 dias de experimento as plantas foram coletadas e encaminhadas para laboratório para fins de determinação dos teores foliares dos nutrientes N, P, K, S, Ca, Mg, B, Fe, Mn e Zn. Os resultados da análise de variância para os teores de nitrogênio determinados pelo método indireto com clorofilômetro portátil na quinta folha totalmente expandida aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas, macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar das plantas de algodoeiro se encontram, respectivamente, nas Tabelas 7, 9 e 11.

4.2.1. Nitrogênio

Conforme pode ser observado na Tabela 7, a qualidade da água utilizada para irrigação ocasionou efeito significativo nos teores foliares de nitrogênio (N-SPAD) aos 50, 70, 90 e 110 Dias após a Emergência (DAE).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para o teor de nitrogênio determinado pelo método indireto com clorofilômetro portátil na quinta folha totalmente expandida aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		30 DAE	50 DAE	70 DAE	90 DAE	110 DAE
Qualidade de água (A)	1	0,11911 ^{ns}	80,04660**	694,69420**	2347,86039**	2399,68880**
Dose de torta de mamona (D)	4	3,30844 ^{ns}	2,92926 ^{ns}	1,82043 ^{ns}	6,40408 ^{ns}	7,13044 ^{ns}
A x D	4	2,05068 ^{ns}	1,66784 ^{ns}	1,98816 ^{ns}	1,99172 ^{ns}	8,15741 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	3,51612 ^{ns}	17,36234*	24,54544*	1,08567 ^{ns}	0,74266 ^{ns}
Entre Adicionais	1	5,50565 ^{ns}	19,31706*	117,29510**	447,41282**	472,67690**
Tratamentos	11	2,77976 ^{ns}	12,28313**	77,43356**	257,26746**	266,75089**
Resíduo	24	4,20240	3,19219	3,37775	8,35821	12,82487
Total	35					
CV (%)		9,59	7,68	8,13	11,66	15,17

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Constataram-se diferenças significativas para os contrastes 'Fatorial vs Adicionais' e 'Entre Adicionais' respectivamente entre os 50 e 70 DAE e entre os 50 e 110 DAE. Não

foi observada significância estatística para o fator Dose de Torta de Mamona ou para a interação entre os dois fatores estudados nas épocas avaliadas.

Na Tabela 8 se encontram os teores médios de N-SPAD da planta em cada período avaliado. Observa-se, aos 30 DAE, que os teores médios foliares de N não foram afetados pelos fatores testados, o que provavelmente ocorreu devido à irrigação até os 30 DAE ter sido feito apenas com água potável que forneceu quantidades semelhantes de nitrogênio aos diferentes tratamentos.

Tabela 8. Teores médios de nitrogênio determinado pelo método indireto com clorofilômetro portátil na quinta folha totalmente expandida aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas

Fatores	Teor de N foliar (g Kg ⁻¹)				
	30 DAE	50 DAE	70 DAE	90 DAE	110 DAE
Dose de torta de mamona					
0 ton ha ⁻¹	20,60	23,45	23,05	24,96	24,14
2 ton ha ⁻¹	21,32	23,01	22,21	23,46	21,94
3 ton ha ⁻¹	20,46	22,98	22,94	23,82	23,26
4 ton ha ⁻¹	22,30	23,79	22,87	25,85	24,42
5 ton ha ⁻¹	21,49	24,68	23,76	25,46	24,56
Fonte de água					
Água potável (AP)	21,17 a	21,95 b	18,15 b	15,86 b	14,72 b
Água residuária (AR)	21,30 a	25,22 a	27,78 a	33,56 a	32,61 a
Fatorial vs Trat. Adicionais					
Fatorial	21,23 a	23,58 a	22,97 a	24,71 a	23,67 a
Tratamentos adicionais	22,07 a	21,72 b	20,75 b	25,18 a	23,28 a
Tratamentos Adicionais					
NPK + AP	21,11 a	19,92 b	16,33 b	16,54 b	14,40 b
NPK + AR	23,03 a	23,51 a	25,17 a	33,81 a	32,16 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

A partir da segunda avaliação, realizada aos 50 DAE, verificou-se que nas plantas irrigadas com água residuária os teores foliares de N-SPAD foram maiores que os observados para as plantas que receberam água potável, tanto entre os tratamentos que contavam com o efeito residual da torta de mamona quanto entre aqueles em que as plantas haviam sido adubadas com N mineral no primeiro ciclo de cultivo (Tabela 8).

É possível observar, ainda, que a diferença percentual entre os teores de N-SPAD obtidos nos tratamentos irrigados com as duas fontes de água se acentuou com o desenvolvimento da cultura, fazendo com que as plantas que receberam o efluente tratado superassem as demais em aproximadamente 15%, 50%, 110% e 120% nas avaliações realizadas aos 50, 70, 90 e 110 DAE, respectivamente.

Isto se deve, certamente, ao aporte contínuo de N proporcionado ao solo por meio da aplicação diária de efluente doméstico, possibilitando que as plantas acumulassem de forma progressiva o nutriente em seus tecidos. Ademais, deve-se considerar que durante a fase de enchimento dos capulhos as plantas de algodoeiro remobilizam boa parte de seus nutrientes do tecido vegetativo para as partes produtivas da planta, o que torna necessário a reposição por meio da absorção radicular. Uma vez que a água potável não garantia ao solo concentrações elevadas de nutrientes, esta pode ter sido a causa do decréscimo gradual nos teores foliares de N-SPAD verificado entre as plantas irrigadas com água de abastecimento público.

O fornecimento de teores de nitrogênio apropriados ao pleno desenvolvimento de várias culturas por meio da aplicação de efluentes de esgoto tratados tem sido relatado por diversos autores (Feigin et al., 1984; Vazquez-Montiel et al., 1996; Ouazzani et al., 1996; Tsadilas & Vakalis, 2003; Medeiros et al., 2005; Leal et al., 2009). Isto ilustra o elevado potencial das águas residuárias de origem doméstica de adicionar ao solo, via irrigação, quantidades de N similares ou até mesmo superiores àquelas obtidas pela dose recomendada de adubo mineral para as culturas (Feigin et al., 1978), contribuindo de forma significativa para a nutrição das culturas.

Malavolta (1997) afirma que o teor adequado de nitrogênio foliar durante a fase inicial de florescimento do algodoeiro herbáceo se situa entre 35 e 40 mg kg⁻¹. Constatou-se, porém, no presente experimento, que aos 50 DAE (início da fase reprodutiva do algodoeiro), os teores médios de N foliar se encontravam aquém no nível apropriado, mesmo entre os tratamentos irrigados com efluente doméstico tratado. Uma alternativa no sentido de adequar os teores foliares de nitrogênio, seria a aplicação de maiores lâminas de água residuária ou a suplementação com fertilizante mineral no início da fase de maior demanda da planta.

Em referência aos teores foliares de nitrogênio determinados ao final do experimento é possível constatar, no resumo da análise de variância, que os tratamentos foram afetados significativamente pela qualidade de água utilizada para irrigação. Verificou-se também diferença significativa para os contrastes 'Entre Adicionais' (NPK+AR vs NPK+AP) e 'Fatorial vs Adicionais' (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) determinados no tecido foliar das plantas ao final do experimento

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		N	P	K	S	Ca	Mg
Qualidade de água (A)	1	888,7875**	0,7332 ^{ns}	786,6368**	234,7078**	126,1919**	34,21616**
Dose de torta de mamona (D)	4	1,0052 ^{ns}	0,2741 ^{ns}	9,7242 ^{ns}	12,2070 ^{ns}	2,9743 ^{ns}	1,68379 ^{ns}
A x D	4	1,1682 ^{ns}	0,3438 ^{ns}	9,1766 ^{ns}	3,1816 ^{ns}	1,1910 ^{ns}	0,81212 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	44,6010*	15,0396**	24,5681 ^{ns}	3,7091 ^{ns}	0,5153 ^{ns}	1,89104 ^{ns}
Entre Adicionais	1	125,7668**	15,4241**	91,5723**	0,2727 ^{ns}	14,9500 ^{ns}	11,11066**
Tratamentos	11	97,0772**	3,0608**	88,9437**	27,2949*	14,3926**	5,20013**
Resíduo	24	6,1374	0,3170	10,3974	10,8463	4,3028	1,30975
Total	35						
CV (%)		13,44	26,50	16,67	13,54	14,81	24,11

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Conforme verificado na Tabela 10, os teores médios de N no tecido foliar das plantas de algodoeiro foram mais elevados entre os tratamentos irrigados com água residuária independentemente da dose e natureza do fertilizante utilizado para adubação no primeiro ciclo de cultivo. Este resultado confirma o comportamento observado para os teores de N-SPAD ao longo do ciclo da cultura.

Para as determinações de N-SPAD amostrou-se apenas a 5ª folha totalmente expandida a partir do ápice de cada uma das unidades experimentais, enquanto para a determinação de N foliar ao final do experimento, foram utilizadas todas as folhas dos ramos vegetativos e reprodutivos da planta. Em algodoeiro, as folhas mais velhas, situadas em posições mais baixas na planta, apresentam menores teores de N devido à remobilização do nutriente para as folhas novas e tecidos produtivos da planta. Isto explica as maiores concentrações de N-SPAD determinados aos 110 DAE em relação ao verificado no final do ciclo da cultura.

Medeiros et al. (2008) avaliaram, em plantas de cafeeiro com três anos de idade, o efeito nutricional proporcionado por dois diferentes manejos: manejo convencional, com aplicação de fertilizante mineral e irrigação com água de represa; e aplicação de água residuária doméstica filtrada. Os autores realizaram amostragens foliares aos 90, 180 e 270 dias após o início da aplicação dos manejos e verificaram que o manejo convencional superou a aplicação de água residuária em relação ao teor médio de N nas folhas durante as

duas primeiras avaliações realizadas. No entanto, aos 270 dias, o teor deste nutriente foi 13,6% maior nas plantas do irrigadas com efluente de esgoto.

Tabela 10. Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) determinados no tecido foliar das plantas ao final do experimento

Fatores	N (g Kg ⁻¹)	P (g Kg ⁻¹)	K (g Kg ⁻¹)	S (g Kg ⁻¹)	Ca (g Kg ⁻¹)	Mg (g Kg ⁻¹)
Dose de torta de mamona						
0 ton ha ⁻¹	18,06	1,61	18,22	24,33	14,97	4,75
2 ton ha ⁻¹	17,62	1,59	20,73	22,69	13,92	4,92
3 ton ha ⁻¹	18,32	1,98	19,92	26,46	14,51	4,04
4 ton ha ⁻¹	17,39	1,97	18,22	23,37	13,16	5,48
5 ton ha ⁻¹	18,26	2,02	17,80	24,01	13,70	5,06
Fonte de água						
Água potável (AP)	12,49 b	1,99 a	13,86 b	26,97 a	16,11 a	3,78 b
Água residuária (AR)	23,37 a	1,68 a	24,10 a	21,38 b	12,00 b	5,92 a
Fatorial vs Trat. Adicionais						
Fatorial	17,93 b	1,84 b	18,98 a	24,17 a	14,05 a	4,85 a
Tratamentos adicionais	20,92 a	3,57 a	21,19 a	25,04 a	13,73 a	4,23 a
Tratamentos Adicionais						
NPK + AP	16,34 b	5,17 a	17,29 b	24,82 a	15,31 a	2,87 b
NPK + AR	25,49 a	1,97 b	25,10 a	25,25 a	12,16 a	5,60 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

A irrigação de culturas agrícolas com águas residuárias tratadas pode proporcionar ao solo um considerável aporte de N, no entanto, a disponibilidade e extração deste elemento pelas plantas dependem da concentração inicial do nutriente no efluente, da lâmina aplicada, das condições climáticas, do manejo da irrigação e das práticas de cultivo (Duarte, 2006).

Na Tabela 10 é possível verificar que as plantas dos tratamentos adubados com fertilizante mineral apresentaram teores foliares médios de N ligeiramente superiores àquelas adubadas com torta de mamona. De acordo com Strong et al. (1997), a adição do fertilizante sulfato de amônio causa uma rápida queda no pH do solo inibindo a nitrificação, que é a fase da mineralização do N que converte o íon amônio (NH⁴⁺) à forma solúvel, o nitrato (NO₃⁻). Desta forma, parte do nitrogênio adicionado ao solo permanece em sua forma amoniacal, a qual é menos sujeita à lixiviação devido à adsorção pelas cargas negativas do solo. Assim, é coerente afirmar que parte do N aplicado inicialmente via sulfato de amônio permaneceu no solo, contribuindo com a nutrição das plantas de algodoeiro em cultivo subsequente.

4.2.2. Fósforo, potássio e enxofre

Conforme pode ser observado na Tabela 10, os teores foliares de P não foram afetados pela qualidade da água utilizada para irrigação, apesar da elevada concentração de P que normalmente é observada em efluentes domésticos. Isto se deve, provavelmente, à translocação do P das folhas para os capulhos das plantas. De acordo com Araujo & Machado (2006), o fosfato, apesar de ser considerado um íon pouco móvel no solo, possui elevada mobilidade na planta, sendo rapidamente transportado das raízes para os tecidos vegetais de crescimento ativo da planta.

Em algodoeiro o fósforo estimula o crescimento radicular e é importante para o florescimento e desenvolvimento dos frutos, favorecendo a maturação dos capulhos e acelerando sua abertura (Carvalho et al., 2007). Na fase de senescência das folhas o P é retranslocado via floema para outras partes da planta, em especial para os tecidos mais jovens e para os órgãos reprodutivos da planta, acarretando decréscimo no teor foliar do nutriente (Malavolta, 1997).

Medeiros & Haag (1990), ao estudarem o estado nutricional de diferentes cultivares de algodoeiro em solução nutritiva, observaram que nas cultivares de ciclo anual as concentrações de fósforo no limbo e pecíolo decresceram linearmente com o tempo. Segundo os autores, a absorção de fósforo pelo algodoeiro é contínua durante todo o desenvolvimento da planta, mas a maior parte do P absorvido no período do crescimento vegetativo é translocada das folhas para os frutos.

Resultado semelhante ao do presente estudo foi observado por Duarte (2006) que constatou não haver diferenças significativas entre os teores foliares de fósforo de plantas de pimentão irrigadas com água potável ou efluentes domésticos tratados por três diferentes métodos.

No entanto, Vazquez-Montiel et al. (1996) e Fonseca et al. (2005) avaliaram o estado nutricional de plantas de milho em resposta à irrigação com águas residuárias e constaram que os teores foliares de P foram maiores quando a irrigação foi realizada mediante a aplicação de efluente de esgoto.

Com relação às fontes de fertilizantes aplicados no primeiro ciclo de cultivo, verificou-se que ocasionaram diferença significativa nos teores foliares de fósforo ao final do ciclo do algodoeiro (Tabela 9). Foi quantificado no tecido foliar das plantas fertilizadas

com adubo orgânico, teor médio de P igual a $1,84 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto para as plantas que receberam N mineral o teor médio foi de $3,57 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 10).

Teores foliares de fósforo em plantas geralmente estão relacionados à umidade do solo, à capacidade extratora da cultura e às concentrações de fosfato disponível na solução do solo. Como pôde ser observado na Tabela 4, os tratamentos adubados com fertilizante mineral no primeiro ciclo de cultivo apresentaram teores de P disponível em média 2,4 vezes maiores que aqueles que contavam com o efeito residual da torta de mamona. Esse fato, associado à baixa capacidade de retenção de fósforo do solo, favoreceu a absorção e o maior acúmulo de P no tecido foliar das plantas dos tratamentos adicionais.

Conforme pode ser observado na Tabela 9, verificou-se a ocorrência de diferença significativa nas concentrações de fósforo entre os tratamentos adicionais. Quantificou-se, para as plantas irrigadas com água potável (NPK + AP), teor foliar médio do nutriente igual a $5,17 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto para as plantas que receberam efluente doméstico (NPK + AR), este valor foi igual a $1,97 \text{ g kg}^{-1}$.

Os dados da análise de variância para os teores de potássio no tecido foliar, obtidos por meio do teste de Tukey, são apresentados na Tabela 9. Foi constatado que a qualidade da água de irrigação acarretou diferenças significativas nos teores foliares de K ao final do ciclo da cultura.

As concentrações foliares de potássio, determinadas nas plantas de algodoeiro ao final do ciclo da cultura, se encontram na Tabela 10. Com exceção da média observada para os tratamentos adubados com torta de mamona e irrigadas com água de abastecimento ($13,86 \text{ g kg}^{-1}$), em todos os demais tratamentos foram observados teores foliares de K acima do intervalo entre $14,0$ e $16,0 \text{ g kg}^{-1}$ considerado, por Malavolta (1997), adequado para a cultura do algodoeiro na fase de florescimento.

A absorção de quantidades de potássio acima das necessidades da cultura é comumente denominada “consumo de luxo” de K, tendo sido já verificado em outros experimentos nos quais se utilizaram efluentes de esgoto tratados (Adekalu & Okunade, 2002; Mohammad & Ayadi, 2004; Fonseca, 2005). No entanto, ainda que se saiba que quando em excesso o K possa interferir positiva ou negativamente na absorção de outros cátions pelas plantas, não se tem conhecimento de toxidez causada por este nutriente em plantas (Meurcr, 2006).

Verificou-se que a irrigação com água residuária tratada proporcionou, às plantas, maior absorção e acúmulo de K. Quantificaram-se, para os tratamentos irrigados com

efluente doméstico e água potável, teores médios de K foliar respectivamente iguais a 24,10 g kg⁻¹ e 13,86 g kg⁻¹. Entre os tratamentos adicionais este efeito também foi observado, tendo a água residuária conferido às plantas um acréscimo de 45% no teor médio deste nutriente em relação à irrigação com água de abastecimento.

Cantarella (2007) afirma que a absorção de K pelas plantas está relacionada à absorção de nitrogênio sendo as interações entre os dois nutrientes, em geral, do tipo não competitivo, ou seja, a absorção de um elemento eleva a demanda pelo outro. Assim, é possível inferir que a maior concentração de potássio nas plantas irrigadas com água residuária no presente experimento, provavelmente está relacionada aos elevados teores de N foliar observados nestes tratamentos. Bull (1993) afirma que a interação entre nitrogênio e potássio obedece à lei do mínimo, pois quando o N é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, esta passa a ser limitada pelos baixos teores de K aplicados ao solo.

Singh et al. (2002) estudaram a cinética e o equilíbrio do potássio durante 8 anos de cultivos sucessivos de arroz e trigo irrigados em solos ricos em K da Índia. Os autores observaram que o emprego de nitrogênio no solo, principalmente quando em conjunto com material orgânico, propiciou maior absorção de potássio pelas culturas e a liberação do K adsorvido nas partículas do solo.

O potássio é um nutriente absorvido em grandes quantidades pelo algodoeiro e desempenha papel fundamental no desenvolvimento da planta, produção e qualidade da fibra, sendo importante também para a eficiência no uso da água, aumento da fotossíntese e translocação de carboidratos formados para os frutos (Carvalho et al., 2007). Feigin et al. (1991) afirmam que a irrigação com águas servidas é capaz de suprir até 100% das necessidades de K do algodoeiro em condições de solos ricos neste nutriente, a exemplo dos solos da região nordeste do Brasil. De acordo com Arienzo et al. (2009), o teor médio de K em águas residuárias domésticas em todo mundo varia entre 10 e 30 mg L⁻¹. No entanto, quando comparado a outros nutrientes, como nitrogênio e fósforo, o potássio não possui significado sanitário relevante com relação ao tratamento de esgotos, não sendo sequer, mencionado como fator limitante nas diretrizes de qualidade de água para irrigação.

Avaliando os efeitos da aplicação de esgotos domésticos tratados na cultura do girassol, Khan et al. (2009) observaram acréscimo nos teores foliares de K quando as

plantas foram irrigadas com o efluente tratado. O mesmo foi observado por Vazquez-Montiel et al. (1996) em folhas de milho.

De acordo com os dados da análise de variância, mostrados na Tabela 9, verificou-se a ocorrência de diferença significativa dos teores de enxofre no tecido foliar das plantas entre os tratamentos irrigados com as diferentes qualidades de água.

Os teores de enxofre total nas folhas de algodoeiro quantificados nos tratamentos irrigados com água de abastecimento e efluente de esgoto foram, respectivamente, iguais a 26,97 e 21,38 g kg⁻¹ (Tabela 10). O maior teor de S verificado nas plantas irrigadas com água potável indica a possibilidade desta fonte de água possuir maiores concentrações do nutriente. De fato, durante os processos de tratamento de água para consumo humano, geralmente é empregado o sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) a fim de promover a coagulação das partículas sólidas, facilitando sua remoção. No entanto, as concentrações utilizadas são baixas, uma vez que, de acordo com a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, o teor máximo de sulfato permitido na água potável é igual a 250 mg L⁻¹.

Estudos referentes à aplicação de efluentes na irrigação de culturas não têm enfatizado o comportamento do enxofre no solo nem nos tecidos foliares. Isto se deve, em geral, à similaridade verificada entre os teores de S-SO₄⁻ em águas residuárias e água potável.

O enxofre possui funções estruturais e metabólicas nos vegetais, fazendo parte da composição da clorofila e de diversas proteínas essenciais. De acordo com Carvalho (2007), o algodoeiro extrai, de forma contínua, pequenas quantidades de enxofre do solo, chegando a um total que varia entre 4 e 8 kg para cada tonelada de algodão em caroço produzida. Deste montante, cerca de 60% são exportados para a formação de sementes e fibra.

4.2.3. Cálcio e magnésio

Conforme pode ser observado nos dados da análise de variância para os teores foliares de cálcio, as diferentes fontes de água ocasionaram diferenças significativas nos teores deste nutriente ao final do período experimental.

Verificou-se que os teores médios de cálcio presentes no tecido foliar das plantas de algodão apresentaram valores mais elevados quando a irrigação foi realizada mediante a

aplicação de água potável. Este resultado pode ser explicado pelos elevados teores de K presentes no solo dos tratamentos irrigados com água residuária (Tabela 4) e que, provavelmente, inibiram de forma competitiva a absorção radicular de cálcio pelas plantas de algodão (Malavolta, 1997).

De acordo com Raij (1991) o nível crítico de cálcio em folhas de algodoeiro é igual a 20 g kg^{-1} , valor muito acima da média observada nos tratamentos irrigados com água residuária doméstica, que foi igual a $12,0 \text{ g kg}^{-1}$. Acredita-se que esses baixos teores do nutriente verificados nas plantas que receberam efluente tratado estejam associados à acumulação de sódio na planta, como será visto posteriormente no tópico que trata da salinidade e sodicidade (Tabela 14).

Tisdale et al. (1985) afirmam que o excesso de Na pode acarretar redução nos teores de Ca provocando, em casos extremos, deficiência deste nutriente nas culturas. O limitado crescimento do sistema radicular é um sintoma comum da deficiência de cálcio em plantas de algodão (Vitti et al., 2006). No entanto tal efeito não foi constatado no presente experimento (Tabela 24).

Uma maneira de contornar a deficiência de Ca seria a realização de calagem no solo. Esta prática, desde que realizada de maneira adequada, é eficiente na correção da acidez do solo, neutralização do Al trocável, elevação da saturação por bases e fornecimento de cálcio e magnésio para as culturas, o que resulta em maior disponibilização de nutrientes às plantas (Carvalho et al., 2007).

Os teores foliares de magnésio no tecido foliar apresentaram diferenças significativas entre as qualidades de água, conforme observado na análise de variância (Tabela 9). Verificou-se também diferença significativa entre os tratamentos do contraste 'Entre Adicionais' (NPK+AR vs NPK+AP).

A aplicação de efluente doméstico tratado promoveu incrementos nos teores foliares de magnésio na ordem de 56,5% em relação à irrigação com água potável. Entre os tratamentos adicionais, adubados com fertilizante mineral, a irrigação com água residuária elevou os teores do nutriente em 94,7% (Tabela 10). Este resultado pode ser atribuído à elevada concentração de magnésio presente na água residuária utilizada ($67,31 \text{ mg L}^{-1}$) a qual era cerca de três vezes mais alta que a observada na água potável ($21,60 \text{ mg L}^{-1}$) (Quadro 10).

Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com o verificado por Al-Nakshabandi et al. (1997), os quais irrigaram plantas de milho com quatro efluentes de

esgoto de diferentes condutividades elétricas (1,55; 2,38; 3,18 e 4,66 dS m⁻¹) e observaram que a elevação na salinidade da água aplicada elevou os teores de magnésio e sódio e reduziu os teores de cálcio no tecido foliar das plantas cultivadas.

4.2.4. Boro, ferro, manganês e zinco

O resumo da análise de variância para os teores foliares dos micronutrientes boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas plantas de algodoeiro ao final do ciclo da cultura se encontra na Tabela 11.

Tabela 11. Análise de variância para os nutrientes boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no tecido foliar das plantas ao final do experimento

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		B	Fe	Mn	Zn
Qualidade de água (A)	1	8859,25898**	28191,87075 ^{ns}	3015430,84800*	130,54188 ^{ns}
Dose de torta de mamona (D)	4	709,01766 ^{ns}	26676,29505 ^{ns}	1527317,20800 ^{ns}	55,04598 ^{ns}
A x D	4	1057,82972 ^{ns}	12000,86895 ^{ns}	816495,83280 ^{ns}	41,11938 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	483,71340 ^{ns}	43860,97800 ^{ns}	704475,64800 ^{ns}	46,63458 ^{ns}
Entre Adicionais	1	1336,02471 ^{ns}	40221,09375 ^{ns}	156764,93760 ^{ns}	12,78960 ^{ns}
Tratamentos	11	1613,30788 ^{ns}	24271,14532 ^{ns}	1204720,32698 ^{ns}	52,23886 ^{ns}
Resíduo	24	817,92064	10417,12325	574754,13720 ^{ns}	113,37660
Total	35				
CV (%)		30,54	44,03	54,90	37,05

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

A análise de variância revelou que os tratamentos não ocasionaram diferenças significativas nos teores de Fe e Zn no tecido foliar. Com relação aos teores de B e Mn, observou-se diferença significativa apenas entre as qualidades de água empregadas na irrigação.

Na Tabela 12 são expostos os teores médios de boro, ferro, manganês e zinco no tecido foliar das plantas de algodoeiro ao final do ciclo, de acordo com os tratamentos aplicados.

Observou-se que, ao final do ciclo da cultura, os teores foliares de boro não foram afetados pela fonte de fertilizante aplicado no primeiro ciclo de cultivo. No entanto, no que diz respeito à qualidade da água de irrigação, verificou-se que a utilização de água potável resultou em teores médios de B no tecido foliar cerca de 40% mais elevados que o observado para as plantas irrigadas com efluente tratado. Também não foram constatadas diferenças significativas nos teores de boro no tecido foliar em função dos níveis residuais

de torta de mamona estudados, demonstrando que o uso do adubo orgânico não afetou a extração deste elemento pelas plantas de algodão.

Tabela 12. Teores totais dos nutrientes boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no tecido foliar das plantas ao final do experimento

Fatores	B (mg Kg ⁻¹)	Fe (mg Kg ⁻¹)	Mn (mg Kg ⁻¹)	Zn (mg Kg ⁻¹)
Dose de torta de mamona				
0 ton ha ⁻¹	79,43	190,68	1038,90	24,50
2 ton ha ⁻¹	104,54	147,76	1565,64	27,11
3 ton ha ⁻¹	101,81	184,73	827,22	26,96
4 ton ha ⁻¹	88,49	321,32	1079,46	32,09
5 ton ha ⁻¹	102,13	236,39	2080,38	30,47
Fonte de água				
Água potável (AP)	112,47 a	246,83 a	1635,36 a	30,31 a
Água residuária (AR)	78,10 b	185,52 a	1001,28 b	26,14 a
Fatorial vs Trat. Adicionais				
Fatorial	95,28 a	216,18 a	1318,32 a	28,23 a
Tratamentos adicionais	85,45 a	309,84 a	1693,68 a	31,28 a
Tratamentos Adicionais				
NPK + AP	100,37 a	227,96 a	1532,04 a	29,82 a
NPK + AR	70,52 a	391,71 a	1855,32 a	32,74 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

O maior acúmulo de B no tecido foliar das plantas irrigadas com água potável está relacionado, provavelmente, ao pH mais ácido verificado no solo desses tratamentos (Tabela 2). Malavolta (2006) afirma que em valores mais baixos de pH o boro predomina no solo sob sua forma não dissociada (H₃BO₃), a qual possui baixa afinidade pelo complexo de troca ficando, portanto, mais disponível à absorção radicular ou à lixiviação.

Na planta, o boro tem importante função na translocação de açúcares e no metabolismo de carboidrato, intervindo também na absorção e no metabolismo dos cátions, sobretudo do cálcio (Dechen & Nachtigall, 2006).

De acordo com Raij (1991), o nível crítico de B em folhas de algodoeiro é igual a 50 mg kg⁻¹. Galvão (2002) afirma que a faixa de suficiência de B nas plantas de algodoeiro herbáceo varia entre 40 e 100 mg kg⁻¹, intervalo em que se situam os teores foliares de B em todos os tratamentos do presente estudo.

Na literatura são encontradas respostas contrastantes quanto aos teores foliares de B relacionados à aplicação de efluentes de esgoto. Trabalhos desenvolvidos por Fonseca et al. (2005) e Sandri et al. (2006) não constataram diferenças significativas nos teores de B

no tecido foliar quando utilizaram efluente tratado e água potável para irrigação de milho e alface.

Em contrapartida, Johns & Mcconchie (1994) e Medeiros et al. (2008) observaram que a irrigação com efluente doméstico proporcionou maiores teores foliares de B em plantas de banana e café, respectivamente. Maiores teores de B em plantas fertirrigadas com águas residuárias geralmente são resultado do maior aporte do nutriente nesses efluentes. Feigin et al. (1991) afirmam que o boro presente em efluentes domésticos é originado, basicamente, de sabões e detergentes, podendo facilmente atingir teores de 0,1 a 1 mg L⁻¹, o que pode levar as plantas à fitotoxicidade por B.

Com relação aos teores de ferro é possível constatar, na Tabela 11, que não foram afetados significativamente pelos tratamentos testados no presente estudo.

De acordo com Galvão (2002) teores foliares de Fe entre 50 e 250 mg kg⁻¹ são considerados adequados para plantas de algodoeiro herbáceo. Assim, pode-se afirmar que, ao final do presente experimento, as plantas não apresentavam deficiência de Fe. Teor médio do nutriente acima do considerado adequado foi observado no tratamento adubado com fertilizante mineral e irrigado com água residuária (391,71 mg kg⁻¹). No entanto, devido à rápida conversão dos compostos de ferro solúveis a compostos insolúveis, casos de toxicidade por Fe são raros, ocorrendo apenas quando os valores médios do nutriente na planta ultrapassam 1.000 g kg⁻¹ (Martens & Westermann, 1991, Bataglia, 1991).

Não há registros de resposta do algodoeiro à adubação com Fe no Brasil, mesmo em situações de solos pobres neste nutriente, como aqueles sob vegetação de cerrado recém incorporado ao sistema produtivo (Carvalho et al., 2007).

Em estudos recentes nos quais se relacionou a nutrição de culturas à irrigação com efluentes de esgoto tratado obtiveram-se resultados contrastantes com relação aos teores foliares de Fe. Pilar-Mañas & De Las Heras (2009) cultivaram alface em solos irrigados há três anos com águas residuárias e observaram que os teores foliares de Fe não foram afetados pelas diferentes fontes de água aplicadas. Em cafeeiro irrigado, Medeiros et al. (2008) verificaram redução nos teores de Fe foliar das plantas que receberam água residuária em comparação àquelas manejadas de forma convencional. Mohammad & Ayadi (2004) notaram que a aplicação de efluente de esgoto resultou em incremento nos teores do nutriente na palha do milho, superando o tratamento irrigado com água potável e adubado com fertilizante mineral.

No entanto, é importante ressaltar que para que haja incremento nos teores de ferro no tecido das plantas, é necessário, ao menos, que a água utilizada possua elevada concentração deste metal e que o solo apresente teor de matéria orgânica e pH adequados à disponibilização deste micronutriente.

A absorção e o acúmulo de manganês no tecido foliar das plantas de algodoeiro foram mais elevados nos tratamentos irrigados com água potável do que naqueles que receberam efluente tratado, não tendo sido verificadas diferenças significativas entre as doses de torta de mamona, entre os diferentes tipos de adubo aplicados ou entre os tratamentos adicionais (Tabela 12).

Os teores mais baixos de Mn verificados no tecido foliar das plantas irrigadas com água residuária provavelmente estão relacionados a dois fatores: (i) maior pH do solo: Borkert et al. (2001) afirmam que a solubilidade do Mn é altamente dependente do estado de acidez/alcalinidade do solo. A elevação do pH do solo proporcionada pela aplicação do efluente tratado (Tabela 2) pode ter induzido a oxidação do manganês (Mn^{2+}) a um estado de maior valência e menor solubilidade, reduzindo sua disponibilidade às plantas; e (ii) maior teor de matéria orgânica na água residuária: a MO proveniente da água residuária pode ter promovido a complexação do manganês, evitando sua absorção pelo sistema radicular das plantas (Page, 1962; Dechen & Nachtigall, 2006).

Resultado semelhante ao do presente estudo foi verificado por Falkiner & Smith (1997) que relacionaram a redução nos teores de Mn ao acréscimo no pH e nos teores de Ca, Mg, K e Na obtidos mediante a aplicação de efluente de esgoto tratado na irrigação de espécies arbóreas. Mohammad & Mazarth (2003) e Mohammad & Ayadi (2004) observaram maior absorção de manganês pelo tecido foliar de plantas irrigadas com águas residuárias, porém, a concentração deste nutriente nos efluentes utilizados era bastante elevada.

É possível verificar, na Tabela 12, que os teores médios de manganês no tecido foliar das plantas observados no presente experimento se encontram muito acima do intervalo considerado adequado para o algodoeiro, por Galvão (2002) que é de 50 a 350 $g\ kg^{-1}$. No entanto, não é possível inferir acerca da fitotoxicidade, uma vez que os parâmetros de toxidez do elemento são muito variáveis. Rehab & Wallace (1978) observaram toxidez por manganês em plantas de algodoeiro quando os teores foliares foram acima de 5.000 $mg\ kg^{-1}$. Foy et al. (1995) observaram este efeito a partir de

1.500 mg kg⁻¹, e Rosolém & Ferelli (1998) notaram prejuízos a partir de 1.000 e 3.000 mg kg⁻¹, dependendo da cultivar.

Os teores de zinco no tecido foliar das plantas de algodoeiro não foram influenciados pelos tratamentos testados (Tabela 12). Malavolta (1997) afirma que a faixa adequada de Zn foliar na cultura do algodoeiro está entre 10 e 15 mg kg⁻¹, assim, pode-se afirmar que todas as plantas se encontram devidamente nutridas em relação a este micronutriente.

O zinco é um importante componente de vários sistemas enzimáticos que regulam diversas atividades do metabolismo das plantas e está relacionado com o metabolismo normal de carbono nas espécies vegetais (Coelho & Verlengia, 1973). No entanto, o algodão é uma espécie pouco exigente em zinco uma vez que sua aplicação ao solo não acarreta aumento na produtividade (Carvalho et al., 2007).

Apesar dos elevados teores de zinco observados no tecido foliar das plantas ao final do experimento, a hipótese de toxicidade é remota, visto que sua ocorrência não é normal em plantas cultivadas em solos com pH elevado, devido à intensa imobilização de Zn que se verifica nessas situações (Dechen & Nachtigall, 2006).

Estudos que relacionaram teores foliares de zinco à irrigação com águas residuárias obtiveram diferentes respostas. Trabalhos desenvolvidos por Mcdeiros et al. (2008) e Adekalu & Okunade (2002) não constataram incremento significativo de zinco no tecido foliar quando utilizaram efluentes tratados e água potável para irrigação de café e milho. Em contrapartida, aumento nos teores de zinco devido à aplicação de efluente doméstico na palha do milho foi observado em pesquisas conduzida por Mohammad & Ayadi (2004).

4.3. Salinidade e sodicidade

Na Tabela 13 se encontra o resumo da análise de variância para as seguintes variáveis determinadas ao final do experimento: condutividade elétrica (CE_{es}) e pH (pH_{es}) determinados no extrato de saturação do solo; percentual de sódio trocável (PST) e teor de sódio trocável (Na⁺_{solo}) no solo; e teor de sódio no tecido foliar.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para condutividade elétrica (CE_{es}) e pH (pH_{es}) determinados no extrato de saturação do solo, percentual de sódio trocável (PST) e teor de sódio trocável (Na^+_{solo}) no solo, e teor de sódio no tecido foliar

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		CE_{es}	pH_{es}	PST	Na^+_{solo}	Na_{planta}
Qualidade de água (A)	1	149,22714**	5,72907**	390,25429**	0,47387**	115329,07698**
Dose de torta de mamona (D)	4	6,06804 ^{ns}	0,33044 ^{ns}	1,70991 ^{ns}	0,00101 ^{ns}	498,48738 ^{ns}
A x D	4	2,66831 ^{ns}	0,19757 ^{ns}	0,25607 ^{ns}	0,00079 ^{ns}	742,38824 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	3,14530 ^{ns}	1,58860 ^{ns}	0,01055 ^{ns}	0,00462 ^{ns}	2912,25943 ^{ns}
Entre Adicionais	1	36,82804**	0,21660 ^{ns}	79,84034**	0,11066**	3221,98319 ^{ns}
Tratamentos	11	20,37690**	0,87694 ^{ns}	43,45174**	0,05421**	11493,34746**
Resíduo	24	1,62293	0,52612 ^{ns}	1,31173	0,00386	1315,57925
Total	35					
CV (%)		27,90	9,76	13,28	22,03	12,65

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

A fim de classificar os solos afetados por sais são consideradas as propriedades químicas do solo avaliadas no extrato de saturação, tais como: pH; condutividade elétrica (CE) e percentual de sódio trocável (PST) (Richards, 1954).

É possível verificar, na Tabela 14, que a aplicação de águas residuárias ao solo por meio da irrigação elevou os teores dessas três variáveis.

Tabela 14. Valores médios de condutividade elétrica e pH no extrato saturado, percentual de sódio trocável, sódio trocável e sódio no tecido foliar

Fatores	CE_{es} ($dS\ m^{-1}$)	pH_{es}	PST (%)	Na^+_{solo} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	Na_{planta} ($mg\ kg^{-1}$)
Dose de torta de mamona					
0 ton ha^{-1}	5,43	7,66	9,07	0,30	297,56
2 ton ha^{-1}	3,35	7,13	8,02	0,26	276,08
3 ton ha^{-1}	4,33	7,53	9,19	0,28	278,63
4 ton ha^{-1}	5,49	7,59	8,12	0,27	285,41
5 ton ha^{-1}	3,57	7,73	8,69	0,27	276,08
Fonte de água					
Água potável (AP)	2,20 b	7,09 b	5,01 b	0,15 b	220,75 b
Água residuária (AR)	6,66 a	7,96 a	12,23 a	0,40 a	344,75 a
Fatorial vs Trat. Adicionais					
Fatorial	4,43 a	7,53 a	8,62 a	0,28 a	282,75 a
Tratamentos adicionais	5,23 a	6,96 a	8,66 a	0,31 a	306,89 a
Tratamentos Adicionais					
NPK + AP	2,75 b	7,15 a	5,02 b	0,17 b	283,71 a
NPK + AR	7,71 a	6,77 a	12,31 a	0,44 a	330,06 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

A salinidade do solo, determinada por sua condutividade elétrica, foi o parâmetro mais afetado pelas águas de irrigação, apresentando valores aproximadamente 200% maiores quando da aplicação do efluente de esgoto tratado, inclusive entre os tratamentos que receberam adubação mineral no primeiro ciclo de cultivo.

Resultados semelhantes foram observados por Mohammad & Mazahreh (2003) os quais verificaram que solos cultivados com duas espécies forrageiras e irrigados com água residuária tratada apresentaram, ao final de 14 meses, valores de condutividade elétrica 122% maiores do que aqueles irrigados com água potável de abastecimento. Os autores atribuíram a elevação na CE_{es} aos elevados teores de sólidos solúveis totais presentes no efluente de esgoto e que podem ter sido acumulados no solo em decorrência da irrigação contínua.

O pH determinado no extrato de saturação do solo foi alterado pela irrigação com efluente de esgoto, a qual proporcionou acréscimo médio de 0,9 no valor do pH_{es} . Este resultado corrobora com os encontrados por Al-Nakshabandi et al. (1997) e Falkiner & Smith (1997) em estudos em que se utilizaram efluentes de esgoto secundários.

De acordo com os dados da Tabela 14 é possível observar que os teores médios de sódio trocável no solo foram aproximadamente 160% mais altos quando se utilizou a água residuária tratada para irrigação da cultura, inclusive entre os tratamentos adicionais que haviam sido adubados com fertilizante mineral no primeiro ciclo. No entanto, os valores de PST verificados no solo após o cultivo se mantiveram abaixo de 15% o que, de acordo com Ayers & Westcot (1999), permite o cultivo de todas as culturas, mesmo aquelas sensíveis ao sódio trocável.

Conforme pôde ser observado no Quadro 10, em que consta a caracterização química das fontes de água utilizadas para irrigação, a aplicação de cada litro da água residuária utilizada no experimento adicionou ao solo 202,6 miligramas de Na. Esta alta concentração deste cátion no efluente tratado provavelmente foi a causa da elevação nos teores trocáveis de Na verificada no solo.

Elevações nos teores de Na trocável em solos irrigados com efluentes domésticos também foram observadas por Johns & Meconchie (1994), Duarte (2006), Fonseca et al. (2005), Jahantigh et al. (2008), Kiziloglu et al. (2008) e Leal et al. (2009).

Altos teores de Na^+ nos sítios de troca dos minerais de argila podem ser nocivos ao solo uma vez que, ao reduzir a força de atração entre as partículas, ocasionam expansão e dispersão das argilas, o que pode comprometer a estrutura, alterar a porosidade e reduzir a

condutividade hidráulica do solo (Raij, 1991). Fonseca (2005), em experimento com capim-bermuda irrigado com água residuária, observou que os teores de Na trocável no solo apresentam correlação positiva com as concentrações de argila dispersa em água, com o grau de dispersão das argilas e com o acúmulo de sódio na parte aérea da planta.

Com relação aos teores de sódio no tecido foliar das plantas de algodoeiro, observou-se que foram influenciados apenas pela qualidade da água utilizada para irrigação (Tabela 13). Os teores foliares de Na dos tratamentos irrigados com água residuária tratada foram maiores do que o verificado para a irrigação com água potável sendo, respectivamente, iguais a 344,75 e 220,75 mg kg⁻¹.

O sódio é um elemento requerido apenas por algumas plantas, em especial pelas espécies halófitas, e absorvido na forma iônica. Sua principal função na nutrição mineral de plantas é substituir o K em determinadas funções fisiológicas (Korndörfer, 2006). Na maioria das espécies, porém, altas concentrações de Na podem acarretar em efeitos maléficos ao desenvolvimento e produção das plantas.

O algodão, apesar de ser considerado uma cultura tolerante a altas concentrações de sais, pode sofrer redução no porte das plantas e no rendimento quando cultivado em solos altamente salinos (François, 1982). No entanto, conforme será visto mais adiante (Tabela 24), este efeito deletério não foi verificado no presente experimento o que pode ser atribuído aos elevados níveis de elementos essenciais, como N e K, disponibilizados ao solo por meio da aplicação da água residuária e absorvidos pelas plantas ao longo do ciclo da cultura.

4.4. Variáveis de crescimento das plantas

4.4.1. Altura das plantas

O resumo da análise de variância dos dados de altura da planta aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas se encontra na Tabela 15.

Constatou-se efeito significativo da qualidade da água aos 50, 70, 90 e 110 Dias Após a Emergência (DAE). As doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo também afetaram a altura das plantas em todas as épocas avaliadas. Observou-se também significância do contraste 'Entre Adicionais' dos 50 aos 110 DAE. Não foi verificada interação significativa entre os dois fatores (Água e Dose de torta de mamona) nos períodos avaliados.

Tabela 15. Análise de variância para os dados de altura da planta aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE) das plantas de algodoeiro

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		30 DAE	50 DAE	70 DAE	90 DAE	110 DAE
Qualidade de água (A)	1	15,84133 ^{ns}	414,40833**	1421,40833**	1456,03333**	1606,00833**
Dose de torta de mamona (D)	4	26,87467*	26,53333*	44,78333*	52,09583*	51,63333*
A x D	4	3,49133 ^{ns}	8,28333 ^{ns}	15,28333 ^{ns}	17,88750 ^{ns}	20,46667 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	9,89356 ^{ns}	51,20000 ^{ns}	44,00556 ^{ns}	32,51250 ^{ns}	45,50139 ^{ns}
Entre Adicionais	1	0,80667 ^{ns}	155,04167**	630,37500**	610,04167**	560,66667**
Tratamentos	11	13,45505 ^{ns}	69,08333**	212,36869**	216,22917**	227,32513**
Resíduo	24	8,15917	16,82639	27,26389	29,31944	25,45833
Total	35					
CV (%)		11,22	8,90	9,68	9,94	9,20

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

É importante ressaltar que, conforme relatado anteriormente, até os 30 DAE a irrigação foi realizada apenas com água potável, razão por que os efeitos verificados se devem exclusivamente aos tratamentos aplicados no ciclo de cultivo anterior.

Na Tabela 16 se observam os valores médios de altura da planta em função dos tratamentos aplicados em cada período avaliado.

Tabela 16. Valores médios de altura da planta em cm aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE)

Fatores	30 DAE (cm)	50 DAE (cm)	70 DAE (cm)	90 DAE (cm)	110 DAE (cm)
Dose de torta de mamona					
0 ton ha ⁻¹	22,08	42,25	50,00	50,50	50,75
2 ton ha ⁻¹	26,55	45,75	52,75	52,92	53,17
3 ton ha ⁻¹	25,50	45,25	54,67	55,50	55,50
4 ton ha ⁻¹	27,58	46,58	52,50	53,00	54,00
5 ton ha ⁻¹	24,42	47,92	57,33	58,25	58,67
Fonte de água					
Água potável (AP)	25,95 a	41,83 b	46,57 b	47,07 b	47,20 b
Água residuária (AR)	24,50 a	49,27 a	60,33 a	61,00 a	61,63 a
Fatorial vs Trat. Adicionais					
Fatorial	25,23 a	45,55 a	53,45 a	54,03 a	54,42 a
Tratamentos adicionais	26,63 a	48,75 a	56,42 a	56,58 a	57,33 a
Tratamentos Adicionais					
NPK + AP	26,27 a	43,67 b	46,17 b	46,50 b	47,67 b
NPK + AR	27,00 a	53,83 a	66,67 a	66,67 a	67,00 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que os tratamentos irrigados com água residuária doméstica apresentaram maior altura de plantas dos 50 DAE até os 110 DAE, efeito este constatado também nos tratamentos adicionais, que receberam adubação mineral no primeiro ciclo de cultivo.

Aos 110 DAE as plantas que receberam efluente doméstico foram 30,6% mais altas em relação àquelas que haviam sido irrigadas com água potável. Quando se compararam os tratamentos fertilizados com adubo químico no primeiro ciclo de cultivo, também se verificou maior altura nas plantas irrigadas com água residuária

Em estudos nos quais se avaliaram os efeitos da aplicação de efluentes de esgoto no crescimento de culturas agrícolas, geralmente foram encontrados resultados semelhantes aos do presente experimento. Khan et al. (2009) avaliaram os efeitos da aplicação de efluente de esgoto tratado em lagoas de estabilização na cultura do girassol e observaram que durante a fase vegetativa da cultura a irrigação com água residuária proporcionou às plantas altura semelhante à obtida pela adubação mineral de base.

Maior altura de plantas irrigadas com água residuária também foi observada por Manios et al. (2006) e Alderfasi (2009) respectivamente em cultivos de tomate e trigo.

As curvas de crescimento do algodoeiro em função dos tratamentos testados se encontram na Figura 6.

Nas Figuras 6B e 6C é possível verificar o efeito positivo da irrigação com água residuária na altura das plantas ao longo do ciclo da cultura. Observa-se, ainda, que nos tratamentos irrigados com água potável a fase de crescimento vegetativo mais acentuado se concentrou nos 50 primeiros dias após a emergência das plantas, enquanto quando a irrigação se deu mediante a aplicação do efluente doméstico esta fase se estendeu até os 70 DAE, quando as plantas atingiram sua altura máxima.

Este alongamento da fase de intenso crescimento vegetativo é devido, provavelmente, ao aporte contínuo de nutrientes proporcionado pela irrigação diária com o efluente tratado. Em geral, as águas residuárias de origem doméstica possuem maiores teores de nutrientes, com destaque para o nitrogênio que, de acordo com Carvalho et al. (2007), estimula o crescimento, o florescimento e regulariza o ciclo da planta.

Silva (1999) afirma que a extração de nitrogênio, fósforo e potássio é mais intensa entre 30 e 60 dias após a emergência, durante as fases de abotoamento e máximo florescimento da cultura; portanto, o aporte de nutrientes nesta fase é de relevante importância para o bom desenvolvimento da cultura

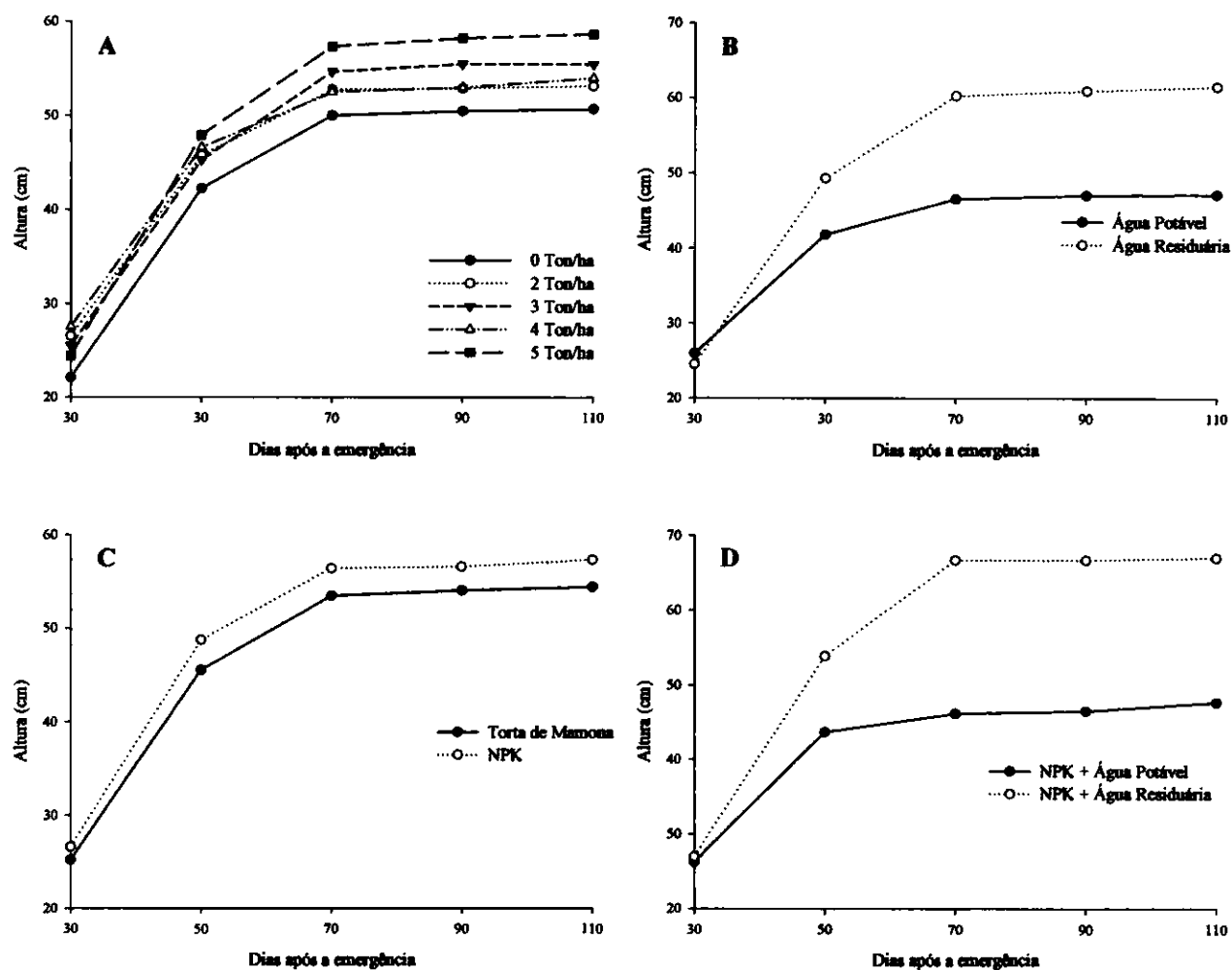


Figura 6. Crescimento da planta em altura do algodoeiro em função das doses de torta de mamona (A), qualidade da água aplicada (B), fonte de adubação residual (C) e tratamentos adicionais (D)

Em relação às doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo, verificou-se que ocasionaram efeito significativo na altura das plantas em todas as épocas avaliadas (Tabelas 15 e 17) revelando o efeito residual do fertilizante orgânico para esta variável.

Tabela 17. Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão ajustadas para a altura das plantas de algodoeiro em função da época de avaliação

Dias após a Emergência	Equação de regressão	R^2
30	$22,185 + 2,4905 X - 0,3218 X^2$	0,89*
50	$42,624 + 1,045 X$	0,91*
70	$50,07 + 1,2072 X$	0,72*
90	$50,417 + 1,2917 X$	0,71*
110	$50,57 + 1,3739 X$	0,81*

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Como pode ser observado na Figura 7, ao final do ciclo da cultura (110 DAE) a altura da planta aumentou linearmente com o incremento da dose de torta de mamona aplicada na cultura anterior, sendo este aumento de 1,37 cm de altura a cada incremento de uma tonelada por hectare na dose de torta de mamona até a dose de 5 ton ha⁻¹.

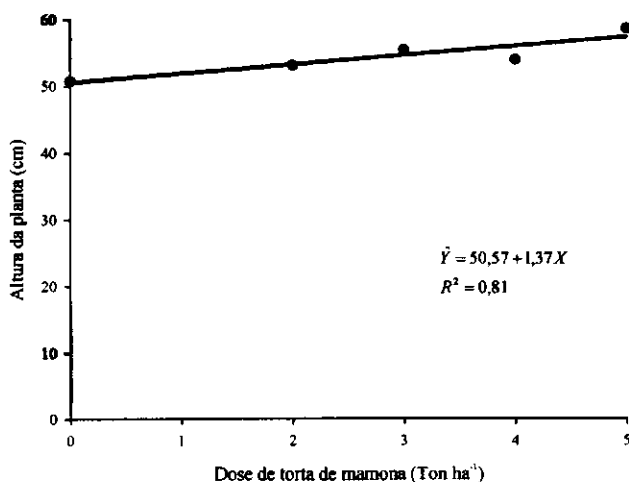


Figura 7. Altura das plantas de algodoeiro ao final do ciclo da cultura em função das doses de torta de mamona aplicadas em primeiro ciclo

4.4.2. Área foliar

Na Tabela 18 são apresentados os resultados da análise de variância para a área foliar do algodoeiro avaliada aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência das plantas.

É possível observar que tanto a qualidade da água de irrigação quanto a dose de torta de mamona, exerceram efeito significativo sobre a área foliar em todos os períodos avaliados. Observou-se significância dos contrastes 'Fatorial vs Adicionais' e 'Entre Adicionais' a partir dos 50 e 70 DAE, respectivamente.

Tabela 18. Análise de variância para os dados de área foliar por planta aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE) das plantas de algodoeiro

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		30 DAE	50 DAE	70 DAE	90 DAE	110 DAE
Qualidade de água (A)	1	209209,40*	430225,51**	1453052,23**	3779036,10**	4292272,88**
Dose de torta de mamona (D)	4	120273,10*	88892,39*	154435,80*	60186,87*	71998,92*
A x D	4	15026,53 ^{ns}	20625,30 ^{ns}	27757,31 ^{ns}	71907,19 ^{ns}	31882,39 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	106568,58 ^{ns}	657648,35**	417546,67**	529287,82**	297411,84**
Entre Adicionais	1	26007,88 ^{ns}	110431,95 ^{ns}	199421,56*	538582,16**	627725,52**
Tratamentos	11	80271,30**	148761,51**	254435,71**	488662,11**	512085,04**
Resíduo	24	25297,80	30396,94	31316,24	35942,59	23132,54
Total	35					
CV (%)		22,32	14,50	14,83	20,84	17,73

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Assim como observado para a altura da planta, não se constatou efeito significativo da interação entre os fatores nas épocas avaliadas.

Os valores médios da área foliar por planta, dados em cm², nas cinco avaliações realizadas durante o ciclo de cultivo do algodoeiro se encontram na Tabela 19.

Tabela 19. Valores médios de área foliar total em cm² planta⁻¹ aos 30, 50, 70, 90 e 110 dias após a emergência (DAE)

Fatores	30 DAE (cm ²)	50 DAE (cm ²)	70 DAE (cm ²)	90 DAE (cm ²)	110 DAE (cm ²)
Dose de torta de mamona					
0 ton ha ⁻¹	546,95	1048,34	1018,71	823,83	718,47
2 ton ha ⁻¹	750,27	1306,41	1459,99	1025,80	907,71
3 ton ha ⁻¹	760,29	1351,10	1286,88	1080,49	1014,60
4 ton ha ⁻¹	939,08	1305,23	1258,64	979,34	942,12
5 ton ha ⁻¹	686,91	1304,87	1184,63	910,60	909,50
Fonte de água					
Água potável (AP)	820,21 a	1143,43 b	1021,69 b	609,09 b	520,23 b
Água residuária (AR)	653,19 b	1382,94 a	1461,85 a	1318,93 a	1276,73 a
Fatorial vs Trat. Adicionais					
Fatorial	736,70 a	1263,19 a	1241,77 a	964,01 a	898,48 a
Tratamentos adicionais	590,71 a	900,52 b	952,79 b	638,65 b	654,59 b
Tratamentos Adicionais					
NPK + AP	656,55 a	764,85 a	770,48 b	339,05 b	331,14 b
NPK + AR	524,87 a	1036,18 a	1135,10 a	938,26 a	978,04 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

Até os 30 DAE a irrigação foi realizada apenas com água potável e, portanto, não se esperava efeito significativo entre os tratamentos para o fator qualidade de água. No

entanto, observou-se que as plantas irrigadas com água potável apresentaram área foliar 25,6% maior que aquelas irrigadas com água residuária. Infere-se que, durante o ciclo anterior, as plantas de gergelim irrigadas com água residuária, por terem apresentado maior produtividade, absorveram do solo quantidades mais elevadas de nutrientes, deixando o solo mais pobre. De fato, o gergelim é considerado, por Beltrão et al. (2001), uma cultura esgotante do solo, uma vez que extrai, deste, em termos relativos, quantidades elevadas de nitrogênio, fósforo e potássio, que variam conforme a produção, o estado nutricional, a variedade utilizada e a parte da planta colhida.

Dos 50 DAE até a última avaliação, foi verificado efeito positivo da aplicação do efluente doméstico no aumento da área foliar por planta, tanto entre os tratamentos que haviam sido adubados com torta de mamona quanto nos que receberam fertilizante mineral no primeiro ciclo de cultivo.

Em estudos nos quais se avaliaram os efeitos da aplicação de efluentes domésticos no crescimento da cultura do algodoeiro, Bezerra et al. (2005) e Fideles Filho et al. (2005) observaram que a aplicação de água residuária proporcionou, às plantas, maior altura, diâmetro caulinar e área foliar em todas as épocas amostrais.

Ferrelra et al. (2005) verificaram que plantas de algodoeiro irrigadas com água residuária tratada obtiveram área foliar e altura semelhantes às proporcionadas pela adubação mineral com 120 kg ha^{-1} de N.

A partir dos 70 DAE observou-se redução gradativa na área foliar das plantas, que se estendeu até o final do experimento (110 DAE). Isto ocorreu devido à abscisão foliar, evento comum em algodoeiro herbáceo na fase que começa com o aparecimento do primeiro capulho e se estende até a colheita. Isto ocorre porque o grande número de maçãs em desenvolvimento nesta etapa impõe competição ao crescimento vegetativo, reduzindo-o. Somado a isto, tem-se a redução da atividade do sistema radicular e o declínio da fotossíntese devido à senescência das folhas de algodoeiro que, em geral, duram cerca de 65 dias (Rosolém, 2007).

De acordo com Oosterhuis (1999), a área foliar do algodoeiro atinge seu ponto máximo antes da abertura da primeira flor e permanece relativamente constante depois disto. Este comportamento foi observado nos tratamentos que receberam efluente doméstico tratado; no entanto se verificou, ao final do experimento, que as plantas irrigadas com água potável sofreram redução de cerca de 50% em sua área foliar

(Figura 8B), denotando alta taxa de abscisão foliar, provavelmente ocasionada pela carência em nutrientes.

Na Figura 8, são apresentadas as curvas de crescimento da área foliar por planta em função dos diferentes tratamentos aplicados. É possível verificar que entre os tratamentos adubados com torta de mamona o aumento da área foliar se deu de forma semelhante para as doses testadas, com ápice aos 50 DAE e posterior declínio até o final do experimento. Para a dose '2 ton ha⁻¹', no entanto, o ápice da área foliar foi aos 70 DAE (Figuras 8A e 8C). Entre os tratamentos adicionais, adubados com fertilizante mineral no primeiro ciclo, a área foliar máxima foi observada na terceira época de avaliação, aos 70 DAE (Figura 8D), sendo reduzida posteriormente.

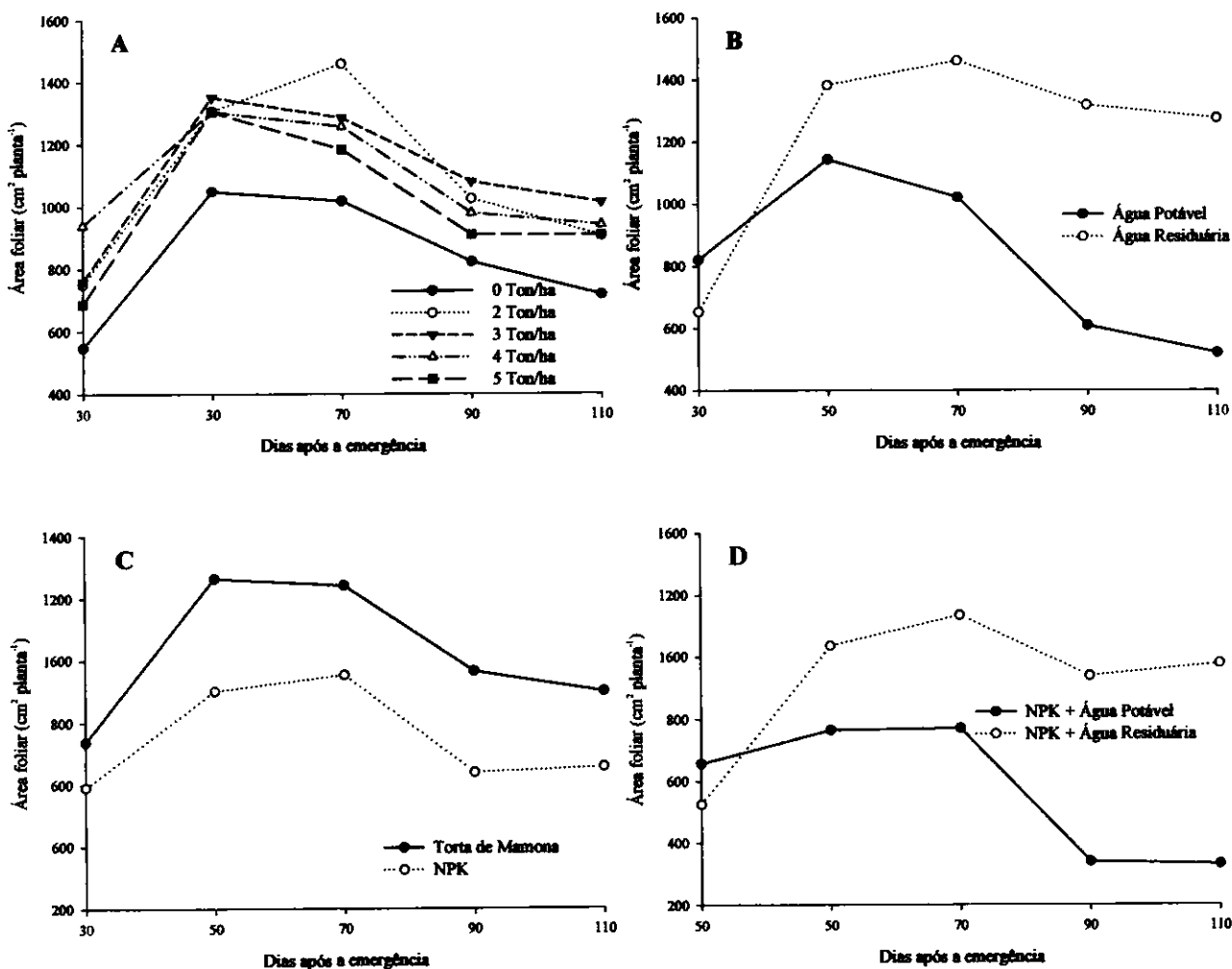


Figura 8. Crescimento da área foliar cm cm² do algodoeiro em função das doses de torta de mamona (A), qualidade da água aplicada (B), fonte de adubação residual (C) e tratamentos adicionais (D)

No que diz respeito ao efeito das doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo, observou-se que ocasionaram alterações significativas, a nível de 5% de probabilidade, na área foliar das plantas de algodoeiro aos 30, 50, 70, 90 e 110 DAE (Tabela 18).

Na Tabela 20 se encontram as equações de regressão ajustadas para a área foliar por planta em função da dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo. Verificou-se a ocorrência de resposta quadrática da área foliar por planta em todas as épocas avaliadas.

Tabela 20. Coeficiente de determinação (R^2) e equações de regressão ajustadas para a área foliar por planta nas épocas avaliadas em função das doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo

Dias após a Emergência	Equação de regressão	R^2
30	$532,81 + 175,71 X - 26,676 X^2$	0,69**
50	$1053,1 + 169,19 X - 24,413 X^2$	0,97*
70	$1043,8 + 240,84 X - 44,105 X^2$	0,78**
90	$823,6 + 166,72 X - 30,222 X^2$	0,96*
110	$714,49 + 158,01 X - 23,93 X^2$	0,94*

*, **. Significativo a 5% e a 1%, respectivamente.

Aos 110 DAE a área foliar máxima estimada é de $975,33 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ e seria alcançada quando a dose de torta de mamona aplicada no primeiro ciclo de cultivo fosse igual a $3,30 \text{ ton ha}^{-1}$ (Figura 9).

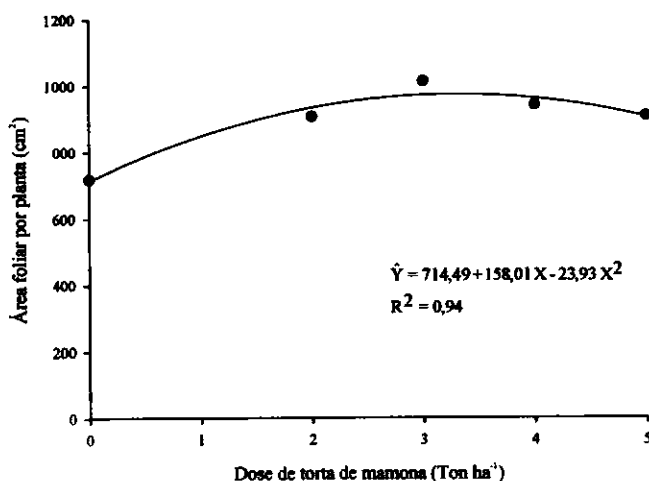


Figura 9. Área foliar por planta determinada no algodoeiro ao final do ciclo da cultura em função das doses de torta de mamona aplicadas em primeiro ciclo

Com base nos dados da Tabela 19 é possível afirmar ainda que o efeito residual da torta de mamona foi mais positivo para o desenvolvimento da parte vegetativa das plantas que o da adubação mineral, uma vez que as plantas que contavam com o efeito residual do adubo orgânico apresentaram maior área foliar em relação aos tratamentos adicionais. De acordo com Smith & Hadley (1989), quando comparados aos adubos minerais, os biofertilizantes apresentam mineralização mais lenta, o que garante que parte de seus nutrientes se torne disponível às plantas apenas em cultivos subsequentes.

4.5. Massa seca das plantas

O resumo da análise de variância para os dados de massa seca da parte aérea (folhas + caule + ramos) e das raízes da plantas de algodoeiro obtidos após a coleta do experimento pode ser observado na Tabela 21.

Tabela 21. Análise de variância para os dados de massa seca da parte aérea e da raiz das plantas ao final do ciclo da cultura

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Massa seca da parte aérea	Massa seca da raiz
Qualidade de água (A)	1	3876,03333**	24,66133**
Dose de torta de mamona (D)	4	55,53200*	0,88300 ^{ns}
A x D	4	10,53667 ^{ns}	0,80967 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	65,28089*	3,52800*
Entre Adicionais	1	1198,50667**	10,14000**
Tratamentos	11	491,28141**	4,10000**
Resíduo	24	11,73333	0,55083
Total	35		
CV (%)		10,10	17,26

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

A análise de variância revelou haver diferenças significativas entre as qualidades de água testadas bem como para os contrastes 'Fatorial vs Adicionais' e 'Entre Adicionais' para as duas variáveis em estudo. Constatou-se também efeito significativo a nível de 5% de probabilidade das doses de torta de mamona sobre a massa seca da parte aérea.

Os valores médios de massa seca da parte aérea e de massa seca de raízes das plantas de algodoeiro ao final do ciclo da cultura em função dos tratamentos aplicados se encontram na Tabela 22.

Observa-se que a aplicação do efluente doméstico proporcionou aumento tanto na massa seca da parte aérea (MSPA) quanto na massa seca de raízes (MSR) independentemente da fonte de fertilizante utilizada no primeiro ciclo de cultivo. Para os

tratamentos que receberam água residuária a MSPA e a MSR foram, respectivamente, 98 e 51,6% maiores em relação aos tratamentos irrigados com água potável. Entre os tratamentos adicionais, que haviam recebido fertilizante mineral no primeiro ciclo, as unidades experimentais irrigadas com efluente tratado superaram as que receberam água potável em 168,5% para a MSPA e 113% para a MSR.

Esses resultados concordam com o observado por Fonseca (2001) que, em estudo com milho irrigado, constatou que a aplicação de água residuária doméstica tratada proporcionou, às plantas, maior produção de matéria seca de folhas e colmos devido ao maior fornecimento e acúmulo de nutrientes promovido pela aplicação do efluente.

Tabela 22. Valores médios de massa seca em g planta⁻¹ da parte aérea e da raiz das plantas ao final do ciclo da cultura

Fatores	Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)	Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)
Dose de torta de mamona		
0 ton ha ⁻¹	30,08	3,80
2 ton ha ⁻¹	32,67	4,45
3 ton ha ⁻¹	36,68	4,82
4 ton ha ⁻¹	37,22	4,62
5 ton ha ⁻¹	35,92	4,52
Fonte de água		
Água potável (AP)	23,15 b	3,53 b
Água residuária (AR)	45,88 a	5,35 a
Fatorial vs Trat. Adicionais		
Fatorial	33,91 a	4,44 a
Tratamentos adicionais	30,90 b	3,60 b
Tratamentos Adicionais		
NPK + AP	16,77 b	2,30 b
NPK + AR	45,03 a	4,90 a

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5 % de probabilidade.

A fim de verificarem a adequabilidade do algodoeiro irrigado à aplicação de águas residuárias, Feigin et al. (1984) fertilizaram o solo com 3 diferentes doses de nutrientes aplicados ao solo por meio de duas diferentes fontes – efluente doméstico e adubo mineral. Os autores perceberam que, a níveis similares de nutrientes, tanto a fertilização com água residuária quanto a adubação química resultaram em níveis semelhantes de nitrogênio, fósforo e potássio no solo e no tecido vegetal; no entanto, o maior acúmulo de matéria seca ocorreu no nível mais alto de aplicação de água residuária.

Alves (2006) avaliando os efeitos da aplicação de quatro lâminas de água residuária e diferentes níveis de fertilizante mineral no desenvolvimento de algodoeiro herbáceo observou que, ao final do ciclo da cultura, a biomassa total das plantas que receberam

efluente doméstico superou aquelas fertilizadas com 180 kg ha⁻¹ de N mineral e irrigadas com água de abastecimento.

O acúmulo de massa seca nas plantas reflete a taxa de fotossíntese líquida ocorrida durante todo o ciclo da cultura sendo extremamente influenciada pelas concentrações celulares de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre, os quais participam ativamente dos processos metabólicos de geração de fotoassimilados. Assim, é correto afirmar que a aplicação de efluentes no solo ocasiona, ao sistema solo-planta, o fornecimento de água e nutrientes que poderão ser usados pelas culturas para a produção de matéria seca.

Com relação às doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo, constatou-se que afetaram significativamente o acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas de algodoeiro, indicando um provável efeito residual (Tabela 21). De acordo com a Figura 10 é possível observar que as crescentes doses do fertilizante orgânico promoveram resposta quadrática na biomassa da parte aérea, com acúmulo máximo estimado em 36,6 g vaso⁻¹ para a dose 4,8 ton ha⁻¹ de torta de mamona.

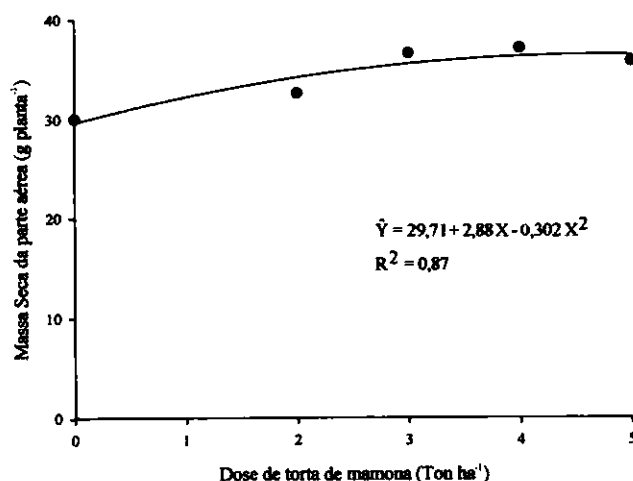


Figura 10. Massa seca da parte aérea em função das doses de torta de mamona aplicadas em primeiro ciclo

4.6. Reudimento da cultura

4.6.1. Número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, produção de algodão em caroço e percentual de fibra

Encontra-se, na Tabela 23, o resumo da análise de variância para os seguintes

componentes de produção do algodão: número de capulhos por planta; peso médio de capulhos; peso de 100 sementes; produção de algodão em caroço por planta e percentagem de fibra. Constatou-se efeito significativo da qualidade da água de irrigação para todas as variáveis em estudo. As doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo afetaram apenas a produção de algodão em caroço por planta. O contraste 'Entre adicionais' não foi significativo apenas para o peso médio de capulhos. Não se observou efeito significativo da interação entre os fatores qualidade de água e dose de torta de mamona nem do contraste 'Fatorial vs Adicionais' para as variáveis.

Tabela 23. Resumo da análise de variância para os componentes de rendimento número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, peso de algodão em caroço por planta e percentual de fibra

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Nº capulhos planta ⁻¹	Peso médio capulhos (g)	Peso 100 sementes (g)	Peso algodão caroço (g)	Fibra %
Qualidade de água (A)	1	128,13333**	5,23582**	38,26010**	5843,22452**	161,26053**
Dose de torta de mamona (D)	4	0,45000 ^{ns}	0,69106 ^{ns}	0,12237 ^{ns}	27,35266**	2,39757 ^{ns}
A x D	4	0,71667 ^{ns}	0,21984 ^{ns}	0,42807 ^{ns}	21,31814 ^{ns}	1,55632 ^{ns}
Fatorial vs Adicionais	1	1,42222 ^{ns}	0,44595 ^{ns}	2,35253 ^{ns}	17,14468 ^{ns}	0,08979 ^{ns}
Entre Adicionais	1	24,00000**	1,16907 ^{ns}	8,70885**	1134,79147**	57,21451**
Tratamentos	11	14,38384**	0,95404 ^{ns}	4,68393**	653,62217**	21,30731**
Resíduo	24	0,47222	0,55911	0,57700	9,55372	2,03958
Total	35					
CV (%)		13,44	12,97	8,23	10,26	3,32

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Os valores médios dos componentes de rendimento do algodoeiro em função das crescentes doses de torta de mamona aplicadas no primeiro cultivo e da fonte de água utilizada para irrigação da cultura são apresentados na Tabela 24. Observou-se que, quando se utilizou água residuária para irrigação, o número de capulhos foi aproximadamente 2,5 vezes maior que quando as plantas receberam água potável, sendo este efeito verificado também entre os tratamentos adicionais. Isto se deve, provavelmente, ao maior aporte de nutrientes, em especial o fósforo e nitrogênio, proporcionado às plantas devido à irrigação com água residuária.

Alves et al. (2005), ao estudarem a influência de quatro lâminas de água residuária sobre as componentes de produção de algodoeiro de fibra marrom verificaram que, em comparação com a irrigação com água potável, a aplicação de água residuária resultou em maior número de botões florais e, conseqüentemente, de capulhos por planta, tendo sido o

maior número de frutos observado quando se aplicou a maior lâmina de água residuária testada.

Tabela 24. Valores médios dos componentes de rendimento do algodão número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, peso de algodão em caroço por planta e percentual de fibra

Fatores	Nº capulhos planta ⁻¹	Peso médio capulhos (g)	Peso 100 sementes (g)	Peso algodão caroço (g)	Pluma %
Dose de torta de mamona					
0 ton ha ⁻¹	5,00	5,44	8,88	27,69	43,83
2 ton ha ⁻¹	5,17	5,39	9,09	28,90	42,13
3 ton ha ⁻¹	5,00	6,24	9,14	31,75	43,42
4 ton ha ⁻¹	5,17	5,78	9,27	30,87	43,11
5 ton ha ⁻¹	5,67	5,72	9,19	32,97	42,98
Fonte de água					
Água potável (AP)	3,13 b	5,30 b	7,98 b	16,48 b	45,41 a
Água residuária (AR)	7,27 a	6,13 a	10,24 a	44,39 a	40,78 b
Fatorial vs Trat. Adicionais					
Fatorial	5,20 a	5,72 a	9,11 a	30,43 a	43,09 a
Tratamentos adicionais	4,67 a	6,01 a	9,80 a	28,58 a	42,96 a
Tratamentos Adicionais					
NPK + AP	2,67 b	5,57 a	8,59 b	14,83 b	46,05 a
NPK + AR	6,67 a	6,46 a	11,00 a	42,34 a	39,87 b

Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao peso médio de capulhos observou-se que os tratamentos com água residuária apresentaram maiores valores, independente da dose de torta de mamona aplicada no primeiro cultivo.

Alguns autores atribuem as reduções no número e peso médio de capulhos à deficiência de nutrientes, mais especificamente potássio (Sabino et al., 1996) e fósforo (Silva et al., 1990), este último encontrado abundantemente em águas residuárias domésticas.

Conforme pôde ser observado no tópico sobre nutrientes no solo (Tabela 4) a utilização da água residuária para irrigação ocasionou um incremento médio de 260% nos teores de P e K trocáveis no solo ao final do experimento o que revela a grande capacidade do efluente doméstico utilizado em disponibilizar esses nutrientes ao solo e, em consequência, às plantas. De acordo com Carvalho et al. (2007) o fósforo favorece a maturação dos capulhos acelerando sua abertura e, juntamente com o potássio, favorece a fotossíntese, o acúmulo e a translocação de carboidratos para os frutos. A deficiência

desses nutrientes pode reduzir o tamanho das maçãs e acarretar em baixa retenção das mesmas.

A irrigação com efluente doméstico também incrementou o peso de 100 sementes em aproximadamente 28%, independente da fonte e da dose de adubo aplicado. Efeito semelhante foi observado por Figueiredo et al. (2005) que constataram que a aplicação de água residuária doméstica resultou em acréscimo de 30% no peso de 100 sementes.

A produção de algodão em caroço por planta foi influenciada significativamente tanto pela fonte de água aplicada na irrigação quanto pela dose de torta de mamona utilizada no ciclo anterior. A irrigação com água residuária proporcionou ao algodoeiro uma produção aproximadamente 2,7 vezes mais elevada do que quando se aplicou água potável, inclusive entre os tratamentos adicionais. Este resultado era esperado, uma vez que as componentes de produção número de capulhos por planta e peso médio de capulhos foram influenciadas positivamente pela aplicação de água residuária doméstica.

Em estudo no qual foram avaliados a influência da irrigação com água residuária e diferentes níveis de adubação nitrogenada sobre o crescimento e produção de algodoeiro herbáceo, Ferreira et al. (2005) observaram que a irrigação com esgoto doméstico proporcionou um incremento de 73% na produtividade do algodão quando em comparação com o tratamento-testemunha irrigado com água de abastecimento. Os autores constataram, também, que a água residuária foi capaz de substituir a adubação nitrogenada mineral em aproximadamente 90 kg ha^{-1} de N.

Tsadilas & Vakalis (2003) testaram o efeito da aplicação de diferentes níveis de fertilizantes nitrogenados e efluentes de esgoto sobre a produção de algodão e verificaram que a irrigação com água residuária doméstica tratada pode proporcionar, à cultura, a mesma produtividade obtida pela adubação mineral com 180 kg ha^{-1} N, 80 kg ha^{-1} P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} K_2O .

Em relação às doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo, verificou-se que ocasionaram efeito residual proporcionando um acréscimo de 1,032 gramas de algodão em caroço por planta a cada incremento de uma tonelada por hectare do adubo orgânico, como pode ser observado na Figura 11. Estes resultados concordam com Medeiros & Pereira (2000) que notaram a ocorrência de efeito residual da adubação orgânica com 4 ton ha^{-1} de esterco bovino na produtividade do algodoeiro arbóreo até o quarto ano de cultivo.

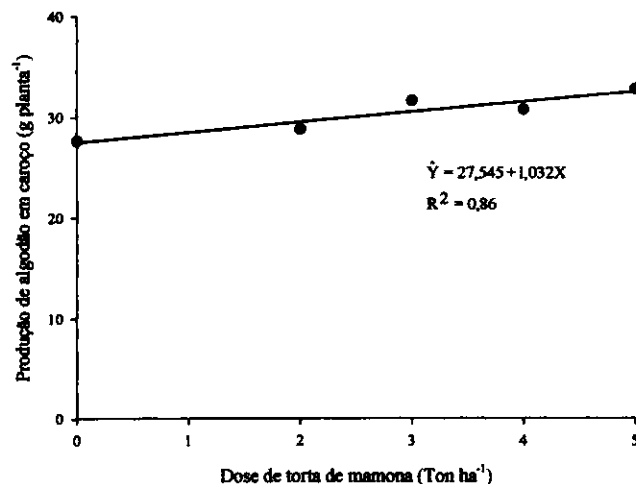


Figura 11. Produção de algodão em caroço, em g planta⁻¹, em função das doses de torta de mamona aplicadas no primeiro ciclo de cultivo

O percentual de pluma foi afetado significativamente apenas pela fonte de água aplicada na irrigação, sendo observados maiores percentagens de fibra quando da aplicação de água potável, inclusive entre os tratamentos adubados com fertilizante mineral no primeiro ciclo. Esses resultados corroboram com as observações de Alves (2006) que encontrou efeito negativo e significativo para o rendimento de fibra com o aumento da lâmina de água residuária aplicada à cultura.

Biclorai et al. (1984) cultivaram algodão fertirrigado por gotejamento durante três anos utilizando duas fontes de água e nutrientes: (i) água residuária doméstica e (ii) água potável adicionada de fertilizante nitrogenado. Os autores observaram que o percentual de pluma foi menor entre os tratamentos irrigados com água residuária e atribuíram este efeito ao excesso de nitrogênio aplicado via água residuária, que pode ter estendido o período vegetativo acarretando excesso de crescimento das plantas de algodão com consequente redução na produção de fibra. Feigin et al. (1984) afirmam que a irrigação do algodoeiro com efluentes de esgoto pode ser realizada com sucesso desde que se ajuste o período de irrigação, de forma a evitar o crescimento vegetativo excessivo das plantas.

4.6.2. Teor de óleo

O resumo da análise de variância para o teor de óleo nas sementes de algodoeiro determinado pelo método de ressonância magnética nuclear (RMN) se encontra na

Tabela 25.

Tabela 25. Resumo da análise de variância para os dados de teor de óleo nas sementes de algodoeiro

	Fonte de Variação					CV %
	Qualidade água (A)	Dose de Torta (D)	A x D	Fatorial vs Adicionais	Entre Adicionais	
Quadrados médios	61,20408**	2,16209 ^{ns}	3,33242 ^{ns}	1,94064 ^{ns}	19,01040**	5,22

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente.

Verifica-se que a qualidade da água de irrigação afetou de forma significativa o percentual de óleo das sementes. Constataram-se também diferenças significativas para o contraste 'Entre Adicionais'. Não foi observada significância estatística para fator Dose de Torta de Mamona, para a interação entre os dois fatores estudados, nem para o contraste 'Fatorial vs Adicionais'.

Observa-se, na Figura 12, que os tratamentos que receberam aplicação de efluente doméstico apresentaram teores médios de óleo nas sementes mais baixos que aqueles irrigados com água potável, sendo este efeito observado também entre os tratamentos adicionais.

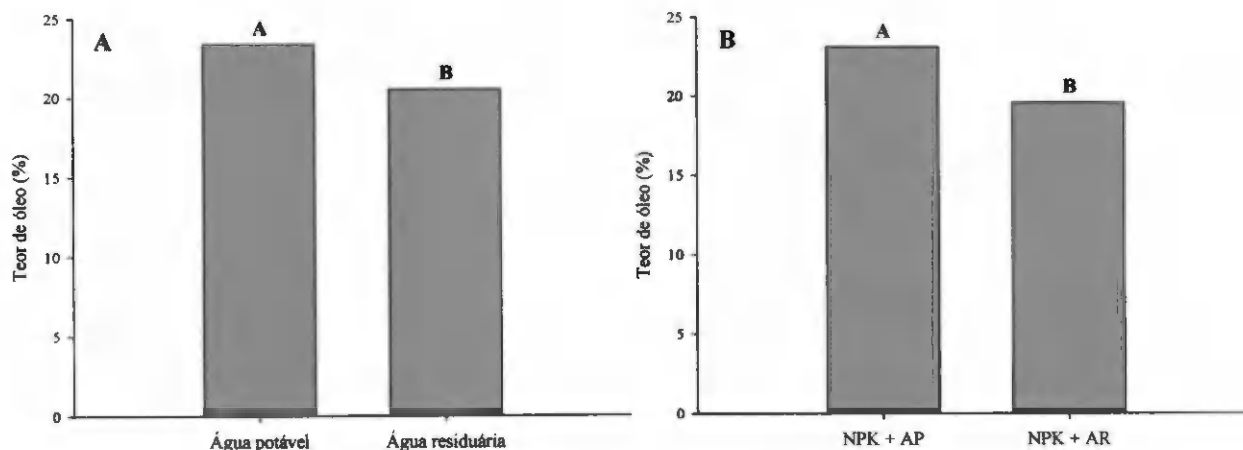


Figura 12. Teor de óleo nas sementes de algodoeiro em função da qualidade da água aplicada (A) e dos tratamentos adicionais (B)

Os maiores percentuais de óleo verificados entre as plantas irrigadas com água de abastecimento público provavelmente estão relacionados aos elevados teores foliares de boro verificados nesses tratamentos, conforme pôde ser observado na Tabela 12.

Carvalho et al. (2007) afirmam que as funções do boro na planta estão relacionadas ao funcionamento da membrana e parede celular, sendo o nutriente essencial à formação dos tecidos meristemáticos, absorção de nutrientes, germinação do grão de pólen e transporte de carboidratos para os capulhos da planta interferindo, desta forma, nos teores de óleo e fibra das plantas

Esses resultados corroboram com o verificado por Medeiros et al. (2008) que, em estudo preliminar visando classificar sementes de mamona provenientes de plantas irrigadas com diferentes níveis de águas residuárias de acordo com o teor de óleo determinado por RMN, observaram que as sementes das plantas irrigadas com 100% de efluente doméstico obtiveram rendimento de óleo mais baixo do que daquelas irrigadas com 100% de água potável.

5. CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível concluir que:

1. A irrigação com água residuária contribuiu para a redução da acidez do solo elevando o pH e reduzindo os teores de acidez trocável do solo.
2. A aplicação de água residuária aumentou o teor de nitrogênio foliar, no entanto este acréscimo não foi o suficiente para suprir as necessidades da cultura.
3. Em relação à irrigação com água potável, a aplicação do efluente de esgoto tratado garantiu maior aporte de potássio e fósforo ao solo, acarretando em maior absorção e acúmulo destes nutrientes pelas plantas de algodoeiro.
4. Com o uso da água residuária foi possível suprir adequadamente as necessidades das plantas de algodoeiro em boro e ferro.
5. A alta concentração de sais presentes na água residuária elevou de forma significativa a condutividade elétrica no extrato saturado e os teores de sódio trocável e no tecido foliar das plantas, aumentando o risco de salinização do solo.
6. A aplicação de doses crescentes de torta de mamona ocasionou efeito residual em segundo cultivo nos teores de matéria orgânica, fósforo e ferro no solo, até a dose de 5 ton ha⁻¹.
7. De forma geral, a irrigação com efluente de esgoto acarretou em efeito positivo no crescimento vegetativo e produção do algodoeiro herbáceo.
8. A área foliar, altura, matéria seca da parte aérea e produção do algodoeiro foram beneficiadas pelo efeito residual das doses de torta de mamona aplicadas ao solo em primeiro ciclo de cultivo.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. 2007. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.646-736.
- ADEKALU, K. O.; OKUNADE, D. A. Effects of pond water and sewage effluent treatments on yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.). **Tropical Agriculture**, v.79, p.120-124, 2002.
- AGUNWANBA, J.C. Analysis of socioeconomics and environmental impacts of waste stabilization pond and unrestricted wastewater irrigation: interface with maintenance. **Environmental Management**, Orlando, v.27, p.463-476, 2001.
- ALDERFASI, A. A. Agronomic and economic impacts of reuse secondary treated wastewater in irrigation under arid and semi-arid regions. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.5, n.3, p.369-374, 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.34, p.81-94, 1997.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação**. Editora UFV, 1999. p. 25-32.
- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- ALVES, W. W. A. **Fertirrigação com água residuária na cultura do algodão de fibra marrom**. 2006. 191f. Tese de Doutorado. Doutorado em Recursos Naturais. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.
- ALVES, W. W. A.; DANTAS NETO, J.; ANDRADE, A. R. S.; MADEIROS, L. B.; AZEVEDO, C. A. V.; SANTOS, J. W.; BELTRÃO, N. E. M. Componentes da produção do algodão de fibra marrom irrigado com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento) p.207-211, 2005.
- ARAÚJO, A. P. & MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.253-280.
- ARIENZO, M.; CHRISTEN, E. W.; QUAYLE, W.; KUMAR, A. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. **Journal of Hazardous Materials** v.164, n.2/3, p.415-422. 2009.

- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1).
- AZEVEDO, L. P. **Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana sob diferentes sistemas de irrigação utilizando águas residuárias**. 2004, 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2004.
- AZEVEDO, L. P. & OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Eugeuharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.253-263, 2005.
- AZEVEDO, P. V.; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. S.; BEZERRA, J. R. C; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.7, p.863-870, 1993.
- BATAGLIA, O. C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M. E. & CRUZ, M. C. P., Eds. **Microutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.289-308.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J.G.de.; PEREIRA, J.R. Fitologia. In: BELTRÃO, N.E. de M.; VIEIRA, D.J. eds. **O agronegócio do Gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicações para transferência de Tecnologia, 2001. p.37-57.
- BELTRÃO, N. E. M. **Torta de mamona (*Ricinus communis* L.): fertilizante e alimento**. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 2002. 6p. (EMBRAPA – CNPA, Comunicado Técnico, 171).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA, L. B. **Recomendações técnicas e considerações gerais sobre o uso de herbicidas, desfolhantes e reguladores de crescimento na cultura do algodão**. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 1997. 32p. (EMBRAPA – CNPA, Documentos, 48).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.
- BEZERRA, J. R. C.; LUZ, M. J. S.; PEREIRA, J. R.; SANTANA, J. C. F.; DIAS, J. M.; JOSÉ SANTOS, W.; SANTOS, T. S. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o rendimento e a fibra do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras**, Campina Grande, v.7, n.2/3, p.727-734, 2003.
- BEZERRA, L. J. D.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE, A. R. S.; ALVEZ, V. W.; AZEVEDO, C. A. V.; GUERRA, H. O. C. Análise de crescimento do algodão colorido sob efeitos da aplicação de água residuária doméstica e biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento) p.333-338, 2005.
- BIELORAI, H.; VAISMAN, I.; FEIGIN, A. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: I. Yield response. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.231-234, 1984.
- BODAKE, P. S. & RANA, D. S. Evaluation of jatropha (*Jatropha curcas*) and castor (*Ricinus communis*) cake as a source of nutrient and soil amendment in spring sunflower (*Helianthus annuus*)-maize (*Zea mays*) sequence. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, n.54, v.3, p.284-290, 2009.

BON, J. H. **Solubilização das proteínas da mamona por euzimas proteolíticas.** 1977. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1977.

BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (eds) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-186.

BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; SILVA, F. M. O.; BRANDAO, Z. N.; SILVA, D. M. A.; SILVA, V. N. B. Determinação não destrutiva de pigmentos fotossintéticos e de nitrógeno em folhas de algodoeiro por meio do clorofilômetro portátil SPAD-502. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura brasileira e expansão dos mercados. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 63-145.

BULLUCK, L. R.; BOSIUS, M. G.; EVANYLO, K.; RISTAINO, J. B. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.19, n.2, p.147-160, 2002.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.68, n.2, p.135-149, 2004.

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil.** ed. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão – ABRAPA, 2007. p.581-647.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios.** ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 1997. 245 p.

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

CHRISTOFIDIS, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.13, n.Especial, p.371-382, 2003.

COELHO, F. S & VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo.** 2.ed. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos: Safra 2009/2010: Quarto Levantamento.** Brasília: CONAB, 2010. 45p. Disponível em:

< http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/04_levantamento_jan2010.pdf >. Acesso em: 15 jan. 2010.

COURACCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L. ANDRADE NETO, C. O. A.; NOUR, E. A.; ANDREOLI, F. N.; SOUZA, H. N.; MONTEGGIA, L. O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AÍSSE, M. M.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R. Disposição controlada de Águas Residuárias no solo. In: CAMPOS, J. R. (Coord.) **Tratamento de Esgotos Sautários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999 Projeto PROSAB. p.321-356.

CROZIER, C. R. Fertilization. In: **2008 Cotton Information**. North Carolina: North Carolina State University, 2008. Disponível em: < http://ipm.ncsu.edu/Production_Guides/Cotton/contents.pdf >. Acesso em: 10 nov. 2008.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DIRECTORATE OF OILSEEDS RESEARCH. Diversified uses of Castor. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CASTOR SEED, CASTOR OIL AND ITS VALUE ADDED PRODUCTS. **Proceedings...** Ahmedabad: The Solvent Extractors Association of Índia, 2004. p.50-57.

DRINKWATER, L. E.; LETOURNEAU, D. K.; WORKNEH, F.; VAN BRUGGEN, A. H. C.; SHENNAN, C. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. **Ecological Applications**, Washington, v.5, p.1098-112, 1995.

DUARTE, A. S. **Recuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. 2006. 187f. Tese de Doutorado, Doutorado em Agronomia - Área de concentração em Irrigação e Drenagem, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p. 302-310, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **BRS Camaçari**. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 2004. Folheto.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. p. 247 – 247, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: Produção de Informação - SPI, 1999. 412p.

FALKINER, R. A. & SMITH, C. J. Changes in Soil Chemistry in Effluent-Irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.131-147, 1997.

FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS, T.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent- irrigated soils. **Soil Science**, v.125, p.248-254, 1978.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FEIGIN, A.; VAISMAN, I.; BIELORAI, H. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: II. Nutrient availability in soil. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.234-238, 1984.

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. M.; KÖNIG, A. Efeitos da aplicação de água residuárias e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.9, n.1, p.893-902, 2005

FIDELES FILHO, J.; NÓBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T.; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Eugeubaria Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.328-332, 2005.

FIGUEIREDO, I. C. M.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; ARAÚJO, M. G. F.; SANTOS, T. S.; AZEVEDO, C. A. V. Uso da água residuária tratada e do bio-sólido no algodão colorido: produção e seus componentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento) p.288-291, 2005.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001

FONSECA, A. F. **Viaabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem**. 2005. 174f. Tese de Doutorado, Doutorado em Agronomia - Área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron, and heavy metals availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1983-2003, 2005.

FOY, C. D.; WEIL, R. R.; CORADETTI, C. A. Differential manganese tolerances of cotton genotypes in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, n.18, p.685-706, 1995.

FRANÇOIS, L. E. Narrow row cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under saline conditions. **Irrigation Science**, Dordrecht, v.3, p.149-156, 1982.

FRIEDEL, J. K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v.31, p.414-421, 2000.

GALINDO, G. G.; BINGHAM, F. T. Monovalent and heterovalent cation exchange equilibria in soils with variable surface charge. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.883-886, 1997.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. eds. **Cerrado - Correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. p.185-226.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; MARTINS FILHO, S. Alterações químicas em três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro conilon. **Engenharia na Agricultura**, v.16, p.416-427, 2008.

GERIK, T. J.; FAVER, K. L.; THAXTON, P. M.; EL ZIK, K. M. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water use, and yield. **Crop Science**, Madison, v.36, p.914-921, 1996.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. **Agronomy Journal**, Madison, n.61, v.3, p.477-479, 1969.

- GWENZI, W. & MUNONDO, R. Long-term impacts of pasture irrigation with treated sewage effluent on nutrient status of a sandy soil in Zimbabwe. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.82, p.197-207, 2008
- HAN, H. L.; KANG, F. J. Experiment and study of the effect of moisture coerce [stress] on cotton producing. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, Baoding, v.17, n.3, p.37-40, 2001.
- HANK, H. D. Effect of irrigation systems and moisture regimes at different growth stages on cotton (*Gossypium hirsutum*) yield. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 77, n.12, p. 870-872, 2007.
- HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost benefit analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.66, n.2, p.133-119, 1997.
- HARUVY, N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. **Resources, Conservation and Recycling**, Reston, v.23, n.1, p.57-66, 1998.
- HEARN, A. B. Response of cotton to water and nitrogen in tropical environment. 1. Frequency of watering and method of application of nitrogen, **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.84, p.407-417, 1975.
- HEIDARPOUR, M.; MOSTAFAZADEH-FARD, B.; ABEDI KOUPI, J.; MALEKIAN, R. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. **Agricultural Water Management**, v.90, n.1/2, p. 87-94, 2007.
- HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recargas de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.4, p.75-95, 2002.
- HIRATA, Y. S.; CRAVEIRO, A. M., SOARES, H. M. Aplicação de reatores de fluxo ascendente com leito de lodo (UASB) no tratamento de efluentes líquidos e produção de energia. In: Simpósio Nacional sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia, **Anais...** Brasília, 1986.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000** - PNSB, Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 397p.
- IEMI – INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL. **Brasil Têxtil: Relatório setorial da indústria têxtil brasileira: 2008**. São Paulo: IEMI, 2007. 148p.
- JAHANTIGH, M. Impact of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties in an arid region. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.11, n.18, p.2264-2268, 2008.
- JOHNS, G. G. & MCCONCHIE, D. M. Irrigation of Bananas with Secondary Treated Sewage Effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.1619-1638, 1994.
- KACHA, R. P.; SADHU, A. C.; TANK, D. A.; GEDIYA, K. M.; PATEL, M. V. Effect of spacing, castor cake and nitrogen levels on green fruit yield of chillies (*Capsicum annum* L.). **Research on Crops**, Hisar, v.8, n.2, p.431-434, 2007.
- KARLEN, D. L.; VITOSH, M. L.; KUNZE, R. J. Irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.5, p.269-273, 1976.

KHAN, MOAZZAM A.; SHAUKAT, S. S.; KHAN, M. A. Growth, yield and nutrient content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) using treated wastewater from waste stabilization ponds. **Pakistan Journal of Botany**, v.41, n.3, p.1391-1399, 2009.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985, 492p.

KIMBALL, B. A.; MAUNEY, J. R. Response of cotton to varying CO₂, irrigation, and nitrogen: Yield and growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.706-712, 1993.

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural water management**, v.95, p.716-724, 2008.

KONNUR, R.; SUBBARAO, E. C. Biogas form de-oiled castor cake. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CASTOR SEED, CASTOR OIL AND ITS VALUE ADDED PRODUCTS, 2004. **Proceedings...** Ahmedabad: The Solvent Extractors Association of India, 2004. p.31-35.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos Benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; OUAZZANI N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). **Urban Water**, Amsterdam, v.4, p.373-378, 2002.

LATTERELL, J. J.; DOWDY, R. H.; CLAPP, C. E.; LARSON, W. E.; LINDEN, D. R. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p.124-128, 1982.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, v.66, n.2, p. 242-249, 2009.

LEON, S. G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de GHEYI, H. R.; KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB. 1999. 108p.

LETTINGA, G. Use of upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment. **Biotechnological Bioengineering**, v.22, p.699-734, 1980.

LEVY, G. J.; FEIGENBAUM, S. The distribution of potassium and sodium between the solution and the solid phase in a ternary (K–Na–Ca) system. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, n.5, p.749-754, 1996.

LIMA, C. A. A. **Tratamento de esgoto sanitário em reator horizontal de leito fixo (RAHLF) - Escala Piloto**. 2001. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

- LIMA, S. M. S.; HENRIQUE, I. N.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUSA, J. T.; ARAÚJO, H. W. C. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9 (suplemento), p.21-25, 2005.
- LIU, L. D.; LI, C. D.; SUN, H. C.; GAO, X. F.; REN, X. Effects of water stress on carbohydrate metabolism in cotton with varying boll sizes. **Cotton Science**, Baoding, v.19, n.2, p129-133, 2007.
- LIU, R. X.; GUO, W. Q.; CHEN, B. L.; WANG, Y. H.; ZHOU, Z. G. Effects of nitrogen on the dry matter, nitrogen accumulation and distribution of cotton under short-term soil drought during the flowering and boll-forming stage. **Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica**, Beijing, v.28, n.6, p.1179-1187, 2008.
- LUZ, M. J. S.; BEZERRA, J. R. C; BARRETO, A. N; SANTOS, J. W.; AMORIM-NETO, M. S. **Resposta do algodociro herbáceo irrigado a deficiência hídrica. II. Características tecnológicas da fibra**. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 1998. 4p. (EMBRAPA – CNPA, Comunicado Técnico, 93)
- MALAVOLTA, E. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 315p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica CERES, 2006. 631p.
- MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. ed. Barueri: Editora Manole, 2003. 576 p.
- MANIOS, T.; PAPAGRIGORIOU, I.; DASKALAKIS, G.; SABATHIANAKIS, I.; TERZAKIS, S.; MANIADAKIS, K.; MARKAKIS, G. Evaluation of primary and secondary treated and disinfected wastewater irrigation of tomato and cucumber plants under greenhouse conditions, regarding growth and safety considerations. **Water Environment Research**, v.78, n.8, p.797-804, 2006.
- MARTENS, D. C. & WESTERMANN, D. T. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M., eds. **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.549-592.
- MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa, 2005. 34p.
- MEDEIROS, A. A. & HAAG, H. P. Nível crítico de fósforo em cultivares de algodão. III. Concentração de fósforo no limbo e pecíolo de acordo com a época da coleta e concentração de fósforo nas soluções nutritivas. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, vol.47, n.1, pp. 107-133. 1990.
- MEDEIROS, E. P.; FELIX, P. H. D.; MELO, J. K. A.; BARRETO, A. N.; NASCIMENTO, J. J. V. R. Um método não destrutivo por RMN de baixo campo e quimiometria para classificação de sementes de mamona em função do perfil espectral do óleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

MEDEIROS, J. C. & PEREIRA, J. R. Adubação e manejo da resteva de algodoeiro arbóreo precoce. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande, v.4, n.2, p.67-73, 2000.

MEDEIROS, S. S. Alterações físicas e químicas do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem doméstica. 2005. 114f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.109-115. 2008.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n.9, v.4, p.603-612. 2005.

MEKKI, A.; DHOUB, A.; SAYADI, S. Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater. **Microbiological Research**, v.161, p.93-101, 2006.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298.

MOHAMMAD, M. J.; AYADI, M. Forage yield and nutrient up take as influenced by secondary treated wastewater. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.27, p.351-364, 2004.

MOHAMMAD, M. J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. **Communications in soil science and plant analysis**, v.34, n.9/10, p.1281-1294, 2003.

MONTES, C. R.; KATO, M. T.; SOUZA, M. A. A.; COURACCI FILHO, B.; MARQUES JÚNIOR, J. Irrigação com esgotos tratados: Impactos no solo e aquíferos. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord.) **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p.155-200.

NARAYANASWAMY, T. K.; RAJEGOWDA; SHANKAR, M. A.; SREERAMULU, K. R. Effect of different organic manures on growth and yield parameters of M₅ and S₃₆ mulberry varieties. **Research on Crops**, Hisar, n.7, v.2, p.541-543, 2006.

NARKHEDE, T. N.; WADILE, S. C.; ATTARDE, D. R.; SURYAWANSHI, R. T. Integrated nutrient management in rainfed sesame (*Sesamum indicum* L.) in assured rainfall zone. **Sesame and Safflower Newsletter**, n.16, p.57-59, 2001.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

OOSTERHUIS, D. M. Growth and development of a cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, J.W. dos. (Eds.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.35-55.

OUAZZANI, N.; BOUSSEIHAIJ, K.; ABBAS, Y. Reuse of wastewater treated by infiltration percolation. **Water Science and Technology**, v.33, n.10/11, p.401-408, 1996.

PAGE, E. R. Studies on soil plant manganese. II. The relationship of soil pH to manganese availability. **Plant & Soil**, v.16, p.247-257, 1962.

PALIWAL, K.; KARUNAICHAMY, K.S.T.K.; ANATHAVALLI, M. Effect of sewage water irrigations on growth performance, biomass and nutrient accumulation in *Hardwickia binata* under nursery conditions. **Bioresource Technology**, v.66, p. 105-111, 1998.

PANICHSAKPATANA, S. Efficiency of some selected organic wastes as nitrogen source for sweetcorn grown on Kamphaeng Saen soil. **Kasetsart Journal (Natural Sciences)**, v.29, n.3, p.358-370. 1995.

PATIL, U. D.; DHANPHULE, S. S.; ARVADIA, M. K. Yield, nutrient content and uptake by fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) as influenced by organic manure and inorganic fertilizer. **International Journal of Plant Sciences**, Muzaffarnagar, n.3, v.1, p.319-320, 2008.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. ed. Rome: FAO, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

PETTIGREW, W. T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.2, p.377-383, 2004.

PILAR-MAÑAS, E. C. & DE LAS HERAS, J. Irrigation with treated wastewater: Effects on soil, lettuce (*Laetuca sativa* L.) crop and dynamics of microorganisms. **Journal of Environmental Science and Health Part A**, n.44, p.1261-1273, 2009.

PRIETO, D.; ANGUEIRA, C. Water stress effect on different growing stages for cotton and its influence on yield reduction. In: KIRDA, C., MOUTONNET, P., HERA, C., NIELSEN, D. R. (Eds.). **Crop Yield Response to Deficit Irrigation**. ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.161-179, 1999.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**, Essex, v.85, p.179-181, 2002.

RANI, N. S. & MALLAREDDY, K. Effect of Different Organic Manures and Inorganic Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Carrot (*Daucus carota* L.). **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Karnataka, v.20, n.3, p.686-688. 2007.

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L.; CHAVES, A. F.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B.; MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9 (suplemento), p.155-159, 2005.

REHAB, F. I. & WALLACE, A. Excess trace metal effects on cotton. I. Copper, zinc, cobalt and manganese in solution culture. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, n.9, p.507-518, 1978.

- RENGASAMY, P.; OLSSON, K.A. Sodicity and soil structure. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.29, p.935-952, 1991.
- RICHARDS, L. A. (Ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United States Salinity Laboratory Staff, USDA, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- ROSOLEM, C. A. & FERELLI, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao Mn da solução nutritiva. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 10, Araraquara: **Resumos...** : UNESP, 1998. p.320.
- ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. ed. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão – ABRAPA, 2007. p.649-688.
- SABINO, N. P.; SILVA, N. M.; KONDO, J. I.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A. Influência da aplicação e do efeito cumulativo de boro nas características agronômicas e propriedades tecnológicas da fibra do algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.55, n.1, p. 163-169, 1996.
- SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com águas residuárias aplicada por sistema de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, 2006.
- SARANGA, Y.; FLASH, I; YAKIR, D. Variation in water-use efficiency and its relation to carbon isotope ratio in cotton. **Crop Science**, Madison, v.38 p.782-787, 1998.
- SEVERINO, L. S. COSTA, F. X.; BELTAO, N. E. M.; LUCENA, A. M. A; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v.5, n.1, p.1-7, 2004.
- SEVERINO, L. S. **O Que Sabemos Sobre a Torta de Mamona**. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 2005. 32p. (EMBRAPA – CNPA, Documentos, 134).
- SILVA, F. de A. S. & AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of the Assistat – Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando. **Anais...**: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.
- SILVA, N M.; CARVALHO, L. H.; SABINO, J. C.; LELLIS, L. G. L.; SABINO, N. P.; KONDO, J. I. Modo e época de aplicação de fosfatos na produção e outras características do algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.49, n.1, p.157-170, 1990.
- SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA; E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, J. W. (Eds.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.57-92.
- SINGH, M.; SINGH, V.P.; REDDY, D.D. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, p. 81-91, 2002.
- SMILES D. E.; SMITH C. J. A survey of the cation content of piggery effluents and some consequences of their use to irrigate soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.42, n.2, 231-246, 2004.
- SMITH, S.R.; HADLEY, P. A comparison of organic and inorganic nitrogen fertilizers: their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Fortune). **Plant and Soil**, v.115, n.1, p.135-144, 1989.

- SOUSA, J. T., LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura**. ed. Campina Grande: EDUEP, 2003. 103p.
- SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, JOSÉ P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.89-96, 2006.
- SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206-274.
- STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.63, p.155-177, 1990.
- STRONG, D. T.; SALE, P. W. G.; HELYAR, K. R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 35, n. 3, p. 565-570, 1997.
- STWEART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, London, v.63, p.155-177, 1990.
- SWIADER, J. M.; MOORE, A. SPAD-chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, Abingdon, v.25, n.5, p.1089-1100, 2002.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. Mc Millan, New York, 1985. 754 p.
- TSADILAS, C. D. & VAKALIS, P. S. Economic benefit from irrigation of cotton and corn with treated wastewater. **Water Science and Technology: Water Supply**, v.3, n.4, p.223-229, 2003.
- VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. **Urban Wastewater: A valuable resource for agriculture; a case study from Hooroonabad, Pakistan**. Research Report 63. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2002. 29p.
- VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anacróbio de Esgotos – Um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf. 1994. 210p.
- VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HOIRAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Water Science and Tcehnology**, London, v.33, n.10-11, p.355-362, 1996.
- VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.
- VON SPERLING, M. Noções de qualidade de água. In: **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 187p.

WANG, Z.; CHANG, A. C.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. **Geoderma**, Amsterdam, v.114, p.261-278, 2003.

YADAV, P. C.; SADHU, A. C.; SWARNKAR, P. K. Yield and quality of multi-cut forage sorghum (*Sorghum sudanense*) as influenced by integrated nitrogen management. . **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, n.52, v.4, p.330-334, 2007.