



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**

## **Tese de Doutorado**

**CULTIVO DO ALGODOEIRO IRRIGADO SOB ADUBAÇÃO  
ORGÂNICA NITROGENADA – PONTENCIAL  
FITORREMEIADOR**

**JOELMA SALES DOS SANTOS**

**Campina Grande  
Paraíba**



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



**TESE  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**CULTIVO DO ALGODOEIRO IRRIGADO SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA  
NITROGENADA – PONTENCIAL FITORREMEDIADOR**

**JOELMA SALES DOS SANTOS**

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
FEVEREIRO – 2012**

**JOELMA SALES DOS SANTOS**

**Engenheira Agrícola, MSc.**

**CULTIVO DO ALGODOEIRO IRRIGADO SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA  
NITROGENADA – POTENCIAL FITORREMEIADOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

**ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

ORIENTADORA:

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA – UFCG/CTRN/UAEA**

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**

**FEVEREIRO – 2012**

**DIGITALIZAÇÃO:**

**SISTEMOTECA - UFCG**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

S237c Santos, Joelma Sales dos.

Cultivo do algodoeiro sob adubação orgânica nitrogenada - potencial fitorremediador / Joelma Sales dos Santos. – Campina Grande, 2012.  
80 f. : il.

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Antunes de Lima.

Referências.

1. Resíduo Sólido.
2. Contaminação.
3. Logística Reversa.
4. Fitoextração. I. Título.

CDU 628.4 (043)



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



**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DE DOUTORADO  
JOELMA SALES DOS SANTOS**

**CULTIVO DO ALGODOEIRO IRRIGADO SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA  
NITROGENADA – PONTENCIAL FITORREMEDIADOR**

BANCA EXAMINADORA:

PARECER

*Vera Lucia Antunes de Lima*

APROVADO

Dr<sup>a</sup>. Vera Lucia Antunes de Lima – Orientadora

*Hugo Orlando Carvalho Guerra*

Aprovado

Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra – UFCG

*Maria Betânia Hermenegildo Nascimento*

Aprovado

Dr<sup>a</sup>. Maria Betânia Hermenegildo Nascimento – UEPB

*Gilvanise Alves Tito*

Aprovado

Dr<sup>a</sup>. Gilvanise Alves Tito – UFCG

*Vanda Maria de Lira*

APROVADO

Dr<sup>a</sup>. Vanda Maria de Lira – UFRN

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA**

**2012**

*Dedico esse momento as pessoas mais importantes da minha vida: José Amilino dos Santos e Damiana Sales dos Santos, meus pais. Pelo exemplo de vida, carinho e imenso amor que a mim dedicam. Amo Vocês!*

## Agradecimentos

A DEUS por tornar tudo em minha vida possível.

Aos meus pais José Anulino dos Santos e Damiana Sales dos Santos meus maiores incentivadores

A minha irmã, Jailma Sales dos Santos, pelo incentivo e presença constante em minha vida, ao meu cunhado Thiago.

Ao meu sobrinho Davi, por ter contribuído para que os momentos de cansaço virassem momentos de alegria e diversão.

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

A professora Vera Lucia Antunes de Lima pela valiosa orientação acadêmica dedicada a mim, na última década, pela confiança e pelo convívio que tem sido bem além do professora-aluna.

Aos professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola responsáveis pela minha formação, meus agradecimentos. Em especial ao professor José Geraldo Vasconcelos Baracuhy pela confiança, incentivo e amizade.

Ao coordenador do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Professor Dermeval Furtado, e aos secretários, Aldaniza, Gilson e Cida, meus agradecimentos.

Aos professores e pesquisadores participantes da banca, na condição de avaliadores internos e externos da Tese, pelas sugestões valiosas.

Aos amigos que sei que estarão comigo sempre, Aline Costa Ferreira, Denise Lemos de Jesus, Riuzuani Michelle Bezerra P. Lopes e Silvana Silva de Medeiros, obrigada pela amizade e pelos bons momentos vividos juntos.

Ao amigo Eptácio, *in memoriam*, pelos momentos vividos juntos que serão eternizados.

Aos colegas que fazem parte do LEID (Laboratório de Irrigação e Drenagem) Leda Verônica, Geraldo Barachuy, Antônio, Henrique, Aaron, Navilta, Euler, Socorro Formiga, Silvânia, Patricio, Dorotel, Betânia, Vanda e Ramom, obrigada pela amizade e por trazer para essa caminhada momentos de descontração que serão lembrados para sempre.

Aos colegas da turma de doutorado, em especial a Evami, Josinaldo, Iedo e Aparecida, pela amizade e parceria.

Aos funcionários do LEID, Sr. Geraldo, Dona Marlene, Edil e Nilson, que contribuíram para fazer desse laboratório uma extensão de casa.

Aos colegas do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento do Semiárido (CDSA), pela compreensão e apoio para a conclusão do doutorado.

Aos bolsistas PIBIQ/CNPq Hallyson, Renato e Danilo pela colaboração durante todo o experimento. Ao Professor Carlos Azevedo, a Nerandi Camerini e a todos que contribuíram de alguma forma, na instalação do experimento.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, em especial ao Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, CNPA, pela doação das sementes e análises realizada da fibra do algodoeiro.

Para a concretização desse momento muitos foram importantes, sendo assim a todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, meu obrigado por fazer parte de mais uma etapa na minha vida.

***Meu muito obrigado!!!***

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
LISTA DE LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE QUADROS .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Objetivo geral .....	2
1.1.1. Objetivos específicos .....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Resíduos sólidos .....	4
2.1.1. Compostagem .....	6
2.1.2. Reciclagem de resíduo sólido na agricultura .....	8
2.2. Fitorremediação .....	10
2.2.1. Tolerância de metais pesados em plantas hiperacumuladoras .....	13
2.3. Águas residuárias .....	14
2.4. O algodoeiro .....	16
2.4.1. Nutrição do algodoeiro .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
3.2. Delineamento estatístico .....	20
3.3. Confeção das unidades experimentais .....	21
3.4. Solo utilizado .....	21
3.5. Caracterização do composto orgânico oriundo de resíduo sólido .....	23
3.6. Cultura utilizada e tratamentos culturais .....	23
3.7. Irrigação das unidades experimentais .....	24
3.8. Parâmetros avaliados .....	26
3.8.1. Variáveis de crescimento do algodoeiro .....	26
3.8.2. Massa seca da planta .....	27
3.8.3. Componentes de produção .....	27
3.8.4. Componentes de qualidade da fibra .....	28
3.8.5. Variáveis fitoextratoras .....	28

3.9. Análise estatística dos dados .....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
4.1. Qualidade do composto orgânico .....	30
4.2. Parâmetros analisados .....	33
4.2.1. Variáveis de crescimento do algodoeiro .....	33
4.2.1.1. Altura das plantas .....	33
4.2.1.2. Área foliar das plantas .....	38
4.2.1.3. Produção de massa seca .....	44
4.3. Componentes de produção .....	46
4.4. Componentes de qualidade da fibra .....	52
4.5. Avaliação da concentração de zinco e cobre na planta (parte aérea + raiz) .....	57
4.6. Variáveis fitoextratoras .....	61
4.6.1. Índice de Translocação e coeficiente de fitoextração do cobre e do zinco .....	61
5. CONCLUSÕES .....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
APÊNDICE .....	77

# **CULTIVO DO ALGODOEIRO IRRIGADO SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA NITROGENADA – POTENCIAL FITORREMEDIADOR**

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Antunes de Lima

## **RESUMO**

A reutilização de resíduos na agricultura tem-se tornado uma alternativa promissora e viável, de vez que pode substituir a adubação química, proporcionando um elevado aporte de nutrientes às plantas, o que possibilita a redução dos custos de produção. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de composto orgânico oriundo de lixo doméstico e a irrigação com água residuária doméstica tratada no desenvolvimento, produção e qualidade da fibra do algodoeiro, bem como seu potencial em absorver os metais zinco e cobre. Para isto, as plantas foram cultivadas em ambiente protegido pertencente à Universidade Federal de Campina Grande, município de Campina Grande, PB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 2, com 3 repetições; as 6 doses de nitrogênio disponível em composto de resíduo sólido foram (0, 60, 100, 140, 180 e 220 kg de N ha<sup>-1</sup>) e 2 tipos de água (água potável e água residuária doméstica tratada). Verificou-se que as doses de nitrogênio e os tipos de água utilizados não influenciaram significativamente, no que diz respeito ao desenvolvimento, à produção e qualidade da fibra do algodoeiro BRS 286, a fibra produzida por esta cultivar se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis pela indústria têxtil. As plantas de algodão se mostraram mais eficientes na absorção e translocação do zinco quando irrigadas com água residuária doméstica tratada. A adubação orgânica oriunda da compostagem de lixo urbano e a irrigação residuária doméstica tratada, podem substituir a adubação química no cultivo de algodoeiro cultivar BRS 286.

**Palavras-chave:** resíduo sólido, contaminação, logística reversa, fitoextração

# **COTTON CROP CULTIVATION IN ORGANIC NITROGEN FERTILIZATION - POTENCIAL PHYTOREMEDIATOR**

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Antunes de Lima

## **ABSTRACT**

The reuse of waste in agriculture has become a viable and promising alternative, since it can replace chemical fertilizer, providing a high input of nutrients to plants, which enables the reduction of costs production. In this sense, the objective was to evaluate the use of compost derived from household waste and irrigation with treated domestic wastewater in the development, production and quality of cotton fiber, as well as its potential to absorb the metals zinc and copper. For this, the plants were grown in a greenhouse belonging to the Federal University of Campina Grande, Campina Grande, Paraíba state. The experimental design was a randomized block in 6 x 2 factorial with three replicates, and six doses of nitrogen available in compost solid waste were (0, 60, 100, 140, 180 and 220 kg N ha<sup>-1</sup>) and two types of water (drinking water and treated domestic wastewater). It was found that the nitrogen and the type of water used had no significant effect, as regards the development, production and quality of cotton fiber BRS 286, the fiber is produced by cultivating parameters is within the acceptable industry textiles. The cotton plants were more efficient in uptake and translocation of zinc when irrigated with treated domestic wastewater. The organic fertilizer coming from the composting of urban waste and treated domestic wastewater irrigation can replace chemical fertilizers in the cultivation of cotton cultivar BRS 286.

**Keywords:** solid waste, contamination, reverse logistics, phytoextraction

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AF – Área Foliar

CF – Coeficiente de Fitoextração

COL – Composto Orgânico de Lixo

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CONAM – Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal

DAE – Dias Após a Emergência

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ELG – Alongamento à Ruptura

ETo – Evapotranspiração de Referência

FBET – Fundação Blumenauense de Estudos Têxteis

HVI – High Volume Instrument

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IT – Índice de Translocação

Kp – Coeficiente de tanque

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MAT – Maturidade

MIC – Índice Micronaire

MS – Massa Seca

MT – Massa Total

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número Mais Provável

NP – Número de Capulhos

PC – Peso de 1 Capulho

PCap – Peso dos Capulhos

PCar – Peso dos Carços

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PP – Peso da Pluma

PS – Peso de 100 sementes

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SFI – Índice de Fibras Curtas

STR – Resistência de Fibra

UASB – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente

UHM – Comprimento de Fibra

UNF – Uniformidade de Comprimento

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de fitoextração no ambiente .....	11
Figura 2. Mapa de localização do ambiente protegido .....	20
Figura 3. Vista geral do experimento (montagem das unidades experimentais (A) e vista geral do sistema de drenagem (B)) .....	21
Figura 4. Plantas com 5 dias após a germinação (A) e Plantas com 15 dias após a germinação (B) .....	24
Figura 5. Modelos de regressão para a altura de plantas do algodoeiro 'BRS 286' em diferentes épocas, irrigado com dois tipos de água e doses crescentes de nitrogênio ...	35
Figura 6. Análise de regressão para o desdobramento da interação entre os tipos de água e doses de N referentes à altura de plantas do algodoeiro 'BRS 286' na última avaliação, aos 90 DAE .....	38
Figura 7. Modelos de regressão para a área foliar do algodoeiro 'BRS 286' em diferentes épocas, em função de doses de nitrogênio .....	42
Figura 8. Modelos de regressão para efeito do desdobramento das doses de N em cada tipo de água utilizado na irrigação, referentes à área foliar de plantas do algodoeiro 'BRS 286', aos 45 DAE (A e B), 90 DAS (C e D) e aos 105 DAS (E e F) .	43
Figura 9. Modelos de regressão para as variáveis peso seco da parte aérea (A) e peso seco da raiz (B) do algodão 'BRS 286' em função de doses de nitrogênio .....	46
Figura 10. Modelos de regressão para as variáveis peso de capulho (A), peso de pluma (B) e peso de caroço (C) do algodão 'BRS 286', em função de doses de nitrogênio .....	51
Figura 11. Modelos de regressão para o desdobramento da interação das doses de nitrogênio dentro dos tipos de água da irrigação, referente ao número de capulhos (A e B) e peso do primeiro capulho (C) do algodoeiro 'BRS 286' .....	52
Figura 12. Modelos de regressão para o desdobramento da interação das doses de N dentro de água potável (A) e água residuária (B) para a característica MAT (Maturidade) e SFI (Índice de fibras curtas) (C) em função das doses de N na colheita do algodão 'BRS 286' .....	57
Figura 13. Teor de Zinco na parte aérea do algodoeiro 'BRS 286' em função de doses de nitrogênio .....	60
Figura 14. Teores de Zinco e Cobre na parte aérea e na raiz de algodoeiro 'BRS 286' em função de dois tipos de água de irrigação (A e B).....	60
Figura 15. Valores médios de Índices de Translocação (IT) e Coeficiente de Fitoextração (CF) em algodoeiro 'BRS 286', em função de dois tipos de água de irrigação .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química das águas utilizadas nas irrigações, água potável e residuária doméstica tratada .....	25
Tabela 2. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável altura das plantas do algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária doméstica tratada .....	34

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável área foliar das plantas do algodoeiro 'BRS 286 para a água potável e residuária doméstica tratada .....	40
Tabela 4. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis massa seca da parte aérea e massa seca da raiz das plantas de algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária .....	44
Tabela 5. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis 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 de algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária .....	47
Tabela 6. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis: comprimento de fibra (UHM), uniformidade de comprimento (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência de fibra (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice micronaire (MIC), maturidade (MAT) do algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária .....	53
Tabela 7. Resumo da análise de variância da quantidade acumulada de Zn e Cu na planta de algodão 'BRS 286' (parte aérea + raiz) para a de água potável e residuária ..	58
Tabela 8. Resumo das análises de variância referente ao desdobramento das variáveis índice de translocação e coeficiente de fitoextração para os metais zinco e cobre para a água potável e residuária .....	61

### LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Análise dos atributos físicos e químicos do Neossolo Regolítico utilizado no preenchimento dos vasos .....	22
Quadro 2. Coeficiente semanal de cultura para o algodoeiro de ciclo médio estimado pelo método do Tanque Classe "A" .....	26
Quadro 3. Caracterização do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano* ....	30
Quadro 4. Resultado da análise biológica do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano* .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2011 se ultrapassou a marca de mais de 7 bilhões de pessoas no planeta, em que a demanda pelos recursos naturais é consequência deste contingente no planeta. As necessidades imediatas para a sobrevivência vão desde o consumo por tecnologia, sendo a necessidade por água e alimentos as maiores e mais desafiadoras.

Diante deste cenário a problemática ambiental vem ganhando relevante destaque, visto que uma das maiores preocupações de todos os setores da sociedade é a produção acentuada de lixo e esgoto tanto nos centros urbanos como nas áreas rurais. A falta de destino adequado tem comprometido os recursos naturais, com consequências marcantes no sistema solo-planta-atmosfera. Por outro lado, há um entendimento, por parte da sociedade de que o ciclo dos produtos não precisa ser concluído após o uso e descarte, mas que esses podem retornar à cadeia produtiva, por meio de reciclagem e reaproveitamento.

A agricultura tem sido uma das atividades causadoras de impactos, porém esta possuem, particularidades, que possibilitam a reciclagem de produtos, que para o consumidor, já não tem mais importância. Assim, o composto orgânico oriundo do lixo urbano pode ser utilizado com grande potencial agrônomo por possuir elevada concentração de nutrientes em sua composição. Pesquisas têm mostrado que o uso do composto orgânico no solo tem apresentado melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Além do mais, este resíduo possui em sua composição apreciáveis quantidades de nutrientes, especialmente N, K e Ca (Xin et al., 1992 e Abreu Júnior et al., 2000). Apesar do aporte de nutrientes, o composto orgânico se destaca como uma alternativa de fácil aquisição e por apresentar baixo custo, Costa et al. (2001).

Aliada à adubação orgânica a irrigação com água residuária pode substituir e suprir a adubação química, uma vez que a água residuária possui cerca de 99,9% de água e 0,01% de matéria orgânica, apresentando altos teores de nitrogênio, potássio e cálcio. Brites (2008) aponta outra vantagem da utilização de águas residuárias em irrigação, ou seja, elas podem proporcionar um incremento de matéria orgânica no solo e aumentar a produtividade mas, quando mal manejados tanto a irrigação com água residuária como a adubação com composto orgânico oriundo de resíduo urbano, podem ser fontes de contaminação do solo. A concentração de sais dissolvidos na água e os altos teores de metais pesados encontrados nos compostos orgânicos oriundos de lixo doméstico, têm tornado a avaliação da qualidade e um rigoroso manejo, requisitos fundamentais para o uso na agricultura.

A fitorremediação tem sido uma técnica utilizada com sucesso em áreas contaminadas por metais pesados ou outras substâncias; trata-se de uma técnica de remediação natural. Segundo Pletsch et al. (1999), se aplica à utilização de vegetais (árvores, arbustos, plantas rasteiras e aquáticas) e de sua microbiota como fim de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas ao ambiente. Baseia-se na tolerância de que algumas espécies a exibem a determinados produtos. No caso de compostos orgânicos, a tolerância pode ser resultante de processos, como a absorção e a translocação diferencial pela planta; da degradação parcial ou completa; e a transformação em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados aos tecidos das plantas (Accioly e Siqueira, 2000; Scramin et al., 2001).

O algodoeiro é uma cultura que possui características particulares para reaproveitamento, seja do composto de resíduo sólido ou da água residuária, uma vez que é uma cultura não comestível. Entre os nutrientes mais importantes para o algodoeiro o nitrogênio apresenta certo destaque; ele acumula, durante o ciclo o equivalente a  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para a produção de uma tonelada de algodão em caroço e, do total absorvido, de 48 a 50% são exportados na forma de fibra e sementes (Santos et al., 2007).

Portanto, estudos através dos quais se busca aumentar os conhecimentos técnicos sobre reaproveitamento de resíduos sólidos ou líquidos, imprescindíveis para manter o meio ambiente em condições desejáveis para a sobrevivência do ser humano.

Ante o exposto, a premissa básica desta tese é o cultivo do algodão irrigado com água residuária doméstica tratada associada à adubação com composto de resíduo sólido urbano poderá contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

## **1.1. Objetivo Geral**

Avaliar o potencial fitorremediador da cultura do algodão irrigado com água residuária doméstica e adubado com composto orgânico bem como seu efeito no crescimento, desenvolvimento e qualidade da fibra da cultura.

### **1.1.1. Objetivos Específicos**

- a) Analisar as características do composto orgânico produzido na usina de reciclagem do Município de Esperança, PB, quanto a normatização vigente e potencial de uso na agricultura.
- b) Avaliar as características dos componentes de crescimento, produção e da qualidade da fibra das plantas de algodão, cultivado em solo adubado com composto orgânico de resíduo sólido.
- c) Comparar o comportamento do algodoeiro quando irrigado com água potável e residuária.
- d) Analisar o conteúdo dos metais pesados zinco e cobre translocados pelas plantas de algodoeiro.
- e) Calcular o Índice de Translocação (IT) e o Coeficiente de Fitoextração (CF) para o zinco e cobre, na cultura.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Resíduos sólidos

O conceito desenvolvimento sustentável está sendo muito difundido, baseado na idéia de atender às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras no atendimento de suas próprias necessidades. Com isto, a população vem-se preocupando cada vez mais com os diversos aspectos do equilíbrio ecológico. Alguns desses aspectos afetam os canais de distribuição reversos, como: disposição do lixo urbano devido aos seus efeitos nocivos, baixa porcentagem de reciclagem das embalagens descartáveis e produtos/materiais passíveis de serem reciclados ou reutilizados - como é o caso do lixo orgânico que pode ser transformado em composto (fertilizante) para utilização na agricultura, no Brasil, por exemplo, esses componentes orgânicos somam cerca de 65% do peso do lixo coletado (Cabral, 2001).

Segundo dados da ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) referentes ao Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2010, a produção de lixo no País cresceu seis vezes mais que a população, cada brasileiro chega a produzir 378 kg de lixo. A quantidade de resíduos com destinação inadequada aumentou quase dois milhões de toneladas, em relação a 2009.

Promulgada no dia 2 de agosto de 2010, a Lei que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujo princípio é a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população, a nova legislação impulsiona o retorno dos produtos às indústrias após o consumo e obriga o poder público a realizar planos para o gerenciamento do lixo.

A Lei nº 12.305/2010 define resíduos sólidos como sendo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A Norma Brasileira (NBR) 10.004/1987, define resíduos sólidos ou semisólidos como sendo aqueles que "resultam da atividade da comunidade de origem industrial,

doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Também são classificados desta forma os lodos provenientes de estações de tratamento de água, gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, e determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos hídricos ou, ainda, que exijam, para isto, soluções técnicas e economicamente inviáveis, face à melhor tecnologia disponível.

As principais fontes de resíduos sólidos são residências, estabelecimentos comerciais, instituições, atividades industriais e agrícolas. Os resíduos de origem domésticos, comerciais e industriais são considerados, em conjunto, resíduos urbanos. Os componentes principais dos resíduos sólidos urbanos são semelhantes em todo o mundo mas a quantidade gerada, a densidade e a proporção dos componentes variam muito de país, mesmo para país e de cidade em cidade dentro de um país, de acordo com o desenvolvimento econômico, localização geográfica, clima e condições sociais (Sufian e Bala, 2007).

A gestão e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU), comumente denominados lixo, constituem grandes problemas a serem enfrentados pela humanidade. No Brasil, este é um problema de grande dimensão ante o enorme volume gerado e a forma, na maioria das vezes inadequada, em que o resíduo tem sido gerenciado e disposto (Carvalho et al., 2006).

Dados oficiais do Brasil demonstram que, do total de resíduos sólidos urbanos coletados, apenas 30% vêm recebendo algum tipo de tratamento enquanto os 70% restantes são lançados em lixões, causando sérios impactos ambientais. Dentre os impactos causados pelo lançamento inadequado de resíduos sólidos urbanos, se citam várias doenças, tais como a salmonelose, a hepatite, a febre tifoide e paratifoide e a leptospirose, dentre outras, contraídas pelo contato direto com os resíduos ou por contato indireto, via macro e microvetores (Leite et al., 2003).

Conforme Encinas (2004), lixão é o local onde o lixo é simplesmente despejado no solo, sem qualquer técnica ou medida de controle, sem nenhum cuidado com o meio ambiente e com a saúde pública, causando poluição do solo, do ar e da água.

A Lei de Política Nacional de Resíduo Sólido estabelece que até 2014 o Brasil deva estar livre dos lixões a céu aberto, presentes em quase todos os municípios brasileiros. Isto é o que define o artigo nº 54 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada por Decreto Presidencial, em 23 de dezembro de 2010.

Alguns dos princípios da Lei dos resíduos sólidos, de agosto de 2010, são: redução, não geração, reutilização e tratamento dos resíduos sólidos, destinação final ambientalmente adequada aos rejeitos; incentivo ao aumento da reciclagem, minimização do uso dos recursos naturais no processo de produção de novos produtos, dentre outros, instituindo uma série de inovações como a Logística Reversa. Assim sendo, a compostagem vem atuar, de forma significativa nesse setor. O que é produzido de “lixo”, em diversos setores, podem ser compostados e ser utilizados pela agricultura em substituição a adubação química contribuindo para manter o ciclo produtivo e a qualidade ambiental.

A logística reversa pode, de forma significativa, contribuir para a redução do volume depositado nos lixões. Segundo Leite (2003), a logística reversa é um termo bastante genérico e significa em seu sentido mais amplo, todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais, englobando todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usadas a fim de assegurar uma recuperação sustentável do meio ambiente.

O uso da logística reversa pelas organizações está aumentando muito a cada ano, devido a fatores como: preocupação ambiental, desenvolvimento local e responsabilidade social visto que muitos dejetos industriais e comerciais causam danos ao meio ambiente, afetando, de forma direta e indireta, a sociedade em qual se vive. Além disto, a preocupação com o fluxo reverso diminuir o impacto prejudicial no contexto ambiental e ecológico, serve como fonte de geração de renda para as empresas que contratam ou efetuam serviços de transporte (Kumar e Tan, 2003).

### **2.1.1. Compostagem**

Conforme Fiori et al. (2008), o aumento da produção de resíduos vem provocando impactos ambientais, de vez que sua taxa de geração é bem maior que taxa de degradação. Contudo, devido à implantação de leis ambientais mais severas, que valorizam o gerenciamento ambiental, tem havido uma conscientização gradual dos efeitos nocivos provocados pelo despejo contínuo de resíduos sólidos e líquidos no meio ambiente.

Na tentativa de equacionar este problema, vários métodos de tratamento e disposição de resíduos orgânicos foram e vêm sendo pesquisados em todo o mundo (Vergnoux et al., 2009) destacando-se, a compostagem, a qual é sugerida pela Lei nº 12.305 de agosto de 2010 para a destinação final ambientalmente adequada do resíduo

sólido urbano. A compostagem é geralmente aplicada a resíduos não fluidos, ou seja, resíduos sólidos provenientes de diversas fontes como resíduos urbanos, agroindustriais e agropecuários, concordando com Amine-Khodja et al. (2006).

A compostagem da fração orgânica do lixo domiciliar é uma técnica bastante eficiente de tratamento desses resíduos, pois cerca de 50% em peso do lixo, são constituídos por material orgânico compostável. Esta, aliada à reciclagem dos materiais inertes separados, pode reduzir significativamente a quantidade de resíduos a ser disposta no ambiente (Grossi, 1993).

Bidone (2001) afirma, porém, que por se tratar de um processo puramente microbiológico, sua eficiência depende da ação e da interação de micro-organismos, os quais são dependentes da ocorrência de condições favoráveis, como a temperatura, a umidade, a aeração, o pH, o tipo de compostos orgânicos existentes, a relação carbono/nitrogênio, a granulometria do material e as dimensões das leiras.

Este processo envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovidas por diversos micro-organismos do solo, que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono. O composto orgânico possui nutrientes minerais, tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, que são assimilados em maior quantidade pelas raízes, além de ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros, que são absorvidos em quantidades menores e, por isto, denominados micronutrientes (Silva, 2000). Outra importante contribuição do composto é que ele melhora as condições do solo. A matéria orgânica compostada se liga às partículas (areia, limo e argila), formando pequenos grânulos que não apenas ajudam na retenção e drenagem da água, mas melhoram a aeração, a capacidade de troca catiônica e as propriedades físicas do solo. Além disso, a presença de matéria orgânica no solo aumenta o número de minhocas, insetos e micro-organismos desejáveis, o que reduz a incidência de doenças nas plantas (Vicentini et al., 2009).

Além disso, o composto pode remediar solos contaminados com compostos orgânicos tóxicos (Breitung et al., 1996, Drzyzga et al., 1999; Amine-Khodja et al., 2006). Porém a qualidade do material compostado é definida pela sua maturidade e estabilidade, parâmetros avaliados através de testes (Francou et al., 2005).

### 2.1.2. Reciclagem de resíduo sólido na agricultura

A utilização dos resíduos industriais e urbanos na agricultura permite a eliminação de resíduos socialmente incômodos propiciando, pelas plantas, o aproveitamento dos elementos nutritivos e compostos orgânicos nele contidos. Além disso, a aplicação dos resíduos industriais contribui para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e contribuir para diminuir o consumo de fertilizantes inorgânicos (Bettiol et al., 2000; Melo et al., 2001; Tsutiya et al., 2001). Essas ações benéficas atribuídas a alguns resíduos podem ser usadas na formação de substratos.

Entende-se por Composto Orgânico de Lixo (COL) o produto obtido do processo de compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos, predominantemente domiciliares (CONAM, 2009). Corroborando com esta definição, Mueller (2005) diz que na cadeia comercial o ciclo dos produtos não termina após serem usados pelos consumidores, mas podem ser reciclados e reaproveitados dentro da própria cadeia. Esta questão se tem revelado de grande importância no meio ambiente, em especial na agricultura sustentável, principalmente pela limitação dos recursos naturais. Dessa forma o lixo, após a reciclagem, tem voltado à cadeia produtiva de alimentos, fibras e óleos, entre outros, como adubo orgânico de qualidade.

O composto de lixo urbano curado utilizado na agricultura melhora as condições físicas e químicas, bem como os processos biológicos do solo. Os efeitos do composto de lixo nas propriedades microbiológicas do solo seriam: melhoria na fixação biológica do nitrogênio em leguminosas e aumento de biomassa microbiana. Tanto a atividade como a quantidade de bactérias e fungos aumentaram com a aplicação do composto, sendo que as maiores respostas foram verificadas logo no primeiro dia após a incorporação do material orgânico ao solo. Em relação às propriedades químicas dos solos, em face de aplicação do composto de lixo, além de fornecer matéria orgânica, possui também macro e micronutrientes e metais pesados. Assim, também se espera que os valores desses elementos aumentem no solo com essa adição. O aumento no teor da matéria orgânica no solo ocorre em aplicações frequentes do composto de lixo.

Segundo Marín et al. (2005), quando se adiciona matéria orgânica ao solo suas propriedades sofrem alterações, podendo-se citar, dentre as propriedades físicas:

a) Densidade aparente: a matéria orgânica reduz a densidade aparente do solo proporcionando maior facilidade para emergência de sementes e penetração das raízes das plantas.

- b) Estrutura do solo: melhora a agregação das partículas primárias (areia, silte e argila) permitindo a formação de agregados estáveis.
- c) Aeração e Drenagem: melhora a aeração e a drenagem interna do solo, ajudando a manter as proporções ideais entre as fases sólidas, líquidas e gasosas do solo.
- d) Retenção de água: a incorporação da matéria orgânica aumenta de forma direta e indireta a capacidade do solo de reter água através das melhorias que ela causa na granulometria e estruturação do solo e por proteger a superfície do solo contra a formação de crostas impermeáveis.

Em relação às propriedades químicas dos solos e em face de aplicação do composto de lixo, verifica-se o fornecimento de matéria orgânica, possui também macro e micronutrientes e metais pesados. Assim, espera-se que os valores desses elementos aumentem no solo com essa adição. O aumento no teor da matéria orgânica no solo ocorre em aplicações freqüentes do composto de lixo.

No composto de lixo se encontram vários micronutrientes, como Zn, Mn e Cu, que podem ser liberados para as plantas com o tempo, reduzindo ou mesmo substituindo o uso de fertilizante. Entretanto, o composto de má qualidade, isto é, que vem de um lixo indevidamente coletado (por exemplo, rico em pilhas e materiais metálicos) e separado, pode conter outros metais tóxicos como Pb, Cr, Cd e Ni que, uma vez adicionados ao solo podem ser absorvidos pela planta entrando, assim, na sua cadeia alimentar (Silva et al., 2002). Grandes quantidades de metais pesados encontrados em compostos orgânicos oriundos das cidades são provenientes de resíduos eletrônicos, por exemplo, nos Estados Unidos os produtos eletrônicos descartados são responsáveis por mais de 40% do chumbo e aproximadamente 70% dos metais pesados encontrados nos aterros sanitários (Babu et al., 2007).

A matéria orgânica ainda proporciona melhorias em algumas propriedades físico-químicas do solo como, por exemplo, adsorção de nutrientes, capacidade de troca catiônica, superfície específica; e promove constante dinamismo nos solos, devido à presença de diversos organismos benéficos ao solo, atuando de forma positiva também nas propriedades biológicas do solo (Marín et al., 2005).

Xin et al. (1992) e Abreu Júnior et al. (2000), verificaram que o potencial agrônômico do composto de lixo urbano está fundamentado na elevada concentração de carbono orgânico presente em sua composição. Aumentar o teor de carbono orgânico de um solo pode significar melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Além disso, esse resíduo encerra em sua composição apreciáveis quantidades de nutrientes, especialmente de sódio, potássio e cálcio.

Em pesquisa com alface Montovani et al. (2005), avaliaram o efeito da aplicação do composto de lixo urbano na fertilidade do solo, o experimento foi realizado em casa de vegetação com colunas de PVC. As colunas receberam solo das profundidades de 0-20 (tratado com composto de lixo), 20-40 e 40-60 cm de um solo argissolo, textura média e uma muda de alface. Ao final do cultivo, colunas de quatro repetições de cada tratamento foram desmontadas e, nas demais colunas fez-se um segundo cultivo de alface. A incorporação de composto de lixo urbano na profundidade de 0-20 cm melhorou a fertilidade do solo da própria camada em que foi aplicado e da camada de 20-40 cm, mas não alterou as características da camada de 40-60 cm. A adubação com composto de lixo urbano propiciou aumento do pH e dos teores de MO, P, K, Ca e Mg do solo, na camada de 0-20 cm, e de pH e Ca, na profundidade de 20-40 cm. A melhora da fertilidade do solo com a aplicação de composto de lixo urbano acarretou aumento de produção de alface e provocou maior acúmulo de P, K e Ca, nas plantas.

## **2.2. Fitorremediação**

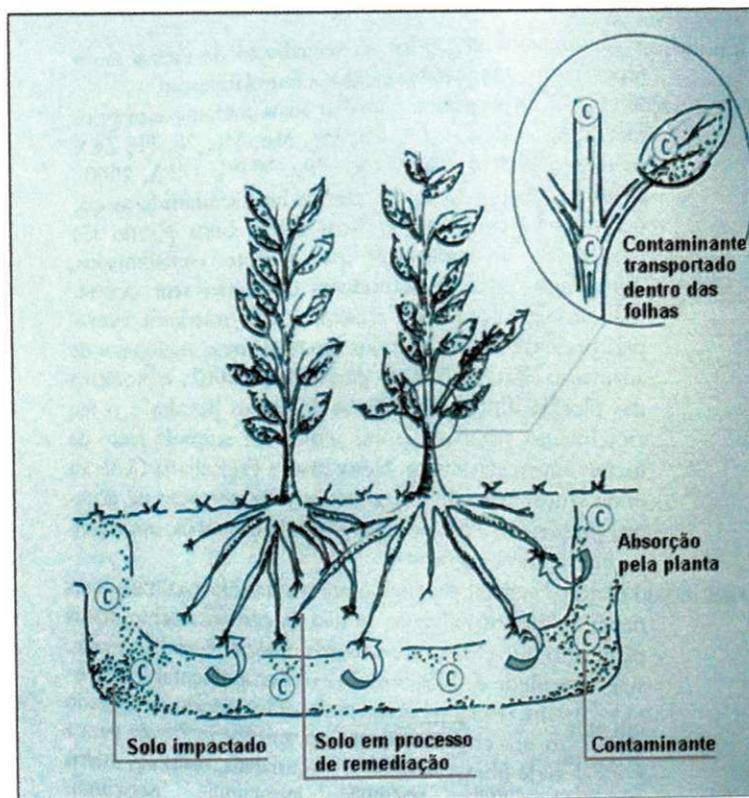
Entende-se por fitorremediação a técnica que emprega sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota associada, como agentes remediadores de ambientes contaminados com diferentes agentes orgânicos, como pesticidas, hidrocarbonetos de petróleo e inorgânicos, tais como metais pesados e radionucléicos (Pilon-Smits, 2005). Fundamenta-se principalmente na fisiologia vegetal, bioquímica do solo e na química dos contaminantes (Accioly e Siqueira, 2000).

No Brasil esta técnica ainda é incipiente, porém tem uso difundido nos Estados Unidos da América e na Europa, sobretudo na remediação de metais pesados no solo. Nestes locais já foram identificadas algumas espécies de comprovada eficiência para este fim (Santos et al., 2004). Conforme Andrade et al. (2007), trata-se de um mecanismo aplicável em todos os tipos de contaminantes, incluindo metais, pesticidas, solventes, explosivos, óleo cru e hidrocarbonetos poliaromáticos.

A Fitorremediação se apresenta subdividida em diferentes estratégias, as quais se baseiam em processos fisiológicos das plantas: fitoestabilização, fitovolatilização, fitodegradação, fitoestimulação e fitoextração (Pilon-Smits, 2005).

A fitoextração, que é uma das técnicas mais eficientes de fitorremediação, envolve o cultivo de plantas que concentram metais pesados do solo na parte aérea, a qual pode então ser removida da área (Krämer, 2005; Nascimento e Xing, 2006). O sucesso da fitoextração depende da habilidade das plantas em acumular concentrações de metais pesados na parte aérea que sejam suficientemente elevadas para reduzir a concentração de metais no solo em níveis toleráveis, com poucos cultivos.

A Fitoextração é a extração dos poluentes do solo e seu posterior acúmulo na parte aérea dos tecidos das plantas denominadas hiperacumuladoras, as quais são capazes de acumular um ou mais elementos inorgânicos em níveis até cem vezes maiores que outras espécies, crescendo sob as mesmas condições (Ma et al., 2001), Figura 1. Para o sucesso desta técnica, é essencial que a planta acumule, na parte aérea, elevadas quantidades de metais. O material coletado poderá então ser compactado, compostado ou incinerado para diminuição de massa e disposição em local apropriado. Outra possibilidade pode ser o uso das plantas coletadas para reciclagem de metais de interesse econômico (Chaney et al., 2007).



**Figura 1.** Esquema de fitoextração no ambiente

Fonte: Andrade et al., 2007

Segundo Nascimento et al. (2009), as condições ideais para um sistema de fitoextração deve-se incluir: a identificação, ou criação, de uma planta com rápido crescimento, alta produção de biomassa, elevada tolerância e capacidade de acumulação para vários metais na parte aérea; a otimização do manejo de solo e das práticas culturais para essa espécie e, por fim, a disposição final adequada do material vegetal ou sua utilização para reciclagem de metais ou geração de energia.

O termo hiperacumuladoras descreve uma série de plantas pertencentes a famílias distintas mas que compartilham a capacidade de crescer em solos metálicos e de acumular montantes extraordinários de metais pesados nos órgãos aéreos, muito acima dos níveis encontrados na maioria das espécies, sem sofrer os efeitos fitotóxicos (Rascio e Izzo, 2011).

Brooks (2004) denomina plantas que possuem características hiperacumuladoras aquelas que têm a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal). Mais de 400 espécies estão catalogadas como plantas hiperacumuladoras, essas pertencentes a 45 famílias diferentes (Lasat, 2000). Porém inúmeras pesquisas têm sido realizadas no sentido de aumentar esse número de plantas ou mesmo testar as plantas já conhecidas em condições diversificadas (Datta et al., 2011; Fassler et al., 2011; Almeida et al., 2008; Assis et al., 2010; Procópio et al., 2008). Plantas com características específicas como: crescimento rápido, elevada produção de biomassa, competitividade, vigor e tolerância à poluição (mamona, girassol, jureminha, vetiver, dentre outras) são de fundamental importância quando se trata de fitorremediação.

O algodoeiro é o nome vulgar dado a várias espécies do gênero botânico *Gossypium* L., da família Malvaceae, que se encontra dentro da lista de plantas com característica fitoextratora. Jorge (2009) diz que o algodoeiro, a cana-de-açúcar e milho na geração de álcool; soja, mamona, algodão, girassol, pinhão-manso, dendê e nabo forrageiro são culturas, com capacidade de produção energética, e que também podem ser usadas com a finalidade de descontaminação do solo, podendo ser chamadas plantas extratoras bioenergéticas, pela sua dupla utilidade.

Dentre as vantagens da fitorremediação se incluem a mínima destruição e a desestabilização da área, baixo impacto ambiental e estética favorável (Nedelkoska e Doran, 2000). Além disso, é uma alternativa limpa, de baixo custo, fornece contenção dos lixiviados, manutenção e melhoria da estrutura física, da fertilidade e da biodiversidade do

solo, e absorção de metais do solo, cuja extração é dispendiosa, utilizando-se outra tecnologia (Khan et al., 2000). Tendo também como opção de tratamento *in situ*, em que o tempo é dependente do ciclo de crescimento e do desenvolvimento da planta.

Jucá et al. (2002) citam algumas desvantagens desta técnica: o crescimento de algumas plantas é dependente da estação, do clima e do solo, é incapaz de reduzir totalmente a concentração do poluente e se aplica apenas à superfície do solo ou as águas de alagados rasos, entre outras. Apesar das desvantagens apontadas é crescente, nesta área, o desenvolvimento em pesquisas nesta área.

### **2.2.1. Tolerância de metais pesados em plantas hiperacumuladoras**

O termo “metal pesado” é usado para todo elemento que tenha peso específico maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ou número atômico maior que 20, segundo Malavolta et al. (2006). Os metais ocorrem, naturalmente, nos solos, porém seu acúmulo pode causar danos diversos.

As fontes de contaminação por metais envolvem os efluentes industriais, pesticidas, resíduos de mineração e processamento de produtos minerais e resíduos de curtume, além dos esgotos domésticos e dos resíduos sólidos. Os metais nos sistemas de águas superficiais podem ser de fontes naturais ou antropogênicas, sendo que níveis excessivos de metais podem colocar em risco a saúde humana e o meio ambiente (Vardanyan e Ingole, 2006).

Alguns metais traço são elementos essenciais para as plantas e animais. Entretanto, sob certas condições ambientais, esses elementos podem se bioacumular em concentrações tóxicas, causando danos fisiológicos. Muitos organismos podem bioconcentrar metais traço proporcionalmente às concentrações encontradas no ambiente em que estão inseridos, não possuindo regulação da concentração de cátions em seus tecidos (Rainbow e Philips, 1993).

Plantas tolerantes e que acumulam grandes quantidades de metais em seus tecidos são designadas hiperacumuladoras (Baker, 1987), é o que ocorre com algumas brássicas (*Brassica juncea*, *B. rapa* e *Thlaspi caerulescens*) que apresentam concentrações superiores a  $100 \text{ mg Kg}^{-1}$  de Cd e de  $10.000 \text{ mg Kg}^{-1}$  de Zn na matéria seca, atingindo concentrações de 175 e  $52.000 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente (Salt et al., 1995; Cunningham e Ow, 1996). Carneiro et al. (2001) observaram que a semeadura conjunta de várias espécies de plantas herbáceas, incluindo uma espécie de brássica tolerante ao Cd e ao Zn, aumentou

a possibilidade de sucesso da revegetação em solos contaminados pelo excesso desses metais, possivelmente pela maior absorção de Cd e Zn pela brássica.

A regulação da absorção de metais pesados da rizosfera, seu acúmulo nas raízes, preservando sua integridade e funções primárias, e a baixa translocação para a parte aérea, são considerados mecanismos pelos quais o sistema radicular pode contribuir para a tolerância de espécies arbóreas a metais pesados (Verkleij e Parest, 1989; Arduini et al., 1996).

### **2.3. Águas residuárias**

A água é um recurso cada vez menos disponível, seja pelo crescimento populacional, com aumento da demanda, seja pelo comprometimento do uso, especialmente pela poluição dos mananciais, além do fato de que a água é um recurso finito e seu volume no planeta é constante (Andrade, 2008).

Quinto (2009) afirma que a crise da água vivenciada por vários países, em diferentes regiões do globo, é provocada não somente pela escassez deste precioso recurso natural, face à demanda cada vez maior, mas também pela gestão inadequada, que vem degradando importantes mananciais, o que gera a procura, de forma cada vez mais intensa, de fontes alternativas de substituição de uso em atividades que necessitem de água de boa qualidade.

Assim sendo, as águas de qualidade inferior como são chamadas as águas residuárias de origens diversas, surgem como alternativa para os mais diversos fins. Para Hussain et al. (2002), as águas residuárias compreendem resíduos líquidos gerados por residências, indústrias, atividades comerciais, em consequência de uso diário, produção e atividades de consumo. O descarte de águas de esgoto é um problema principalmente para os órgãos públicos, como prefeituras, em particular no caso de grandes áreas metropolitanas, com espaço limitado para tratamento. Por outro lado, a água residuária é também um recurso que pode ser aplicado em usos produtivos, com potencial de aplicação na agricultura, piscicultura, e outras atividades. Através do processo de utilização de águas oriundas de esgotos urbanos, por exemplo, para a irrigação, seria possível a liberação da água de melhor qualidade visando às atividades para as quais ela é essencial.

Desta forma, as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária, são: conservação da água disponível, grande disponibilidade, possibilidade do aporte e a

reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) e concorrer para a preservação do meio ambiente (van der Hoek et al., 2002).

A contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais em áreas com reúso de efluentes, está intimamente ligada às características do efluente e às propriedades de retenção e transmissão de água e solutos do solo, que podem limitar sua aplicação (Marciano et al., 2001).

Apesar de alguns países já estabelecerem mercados de água, incluindo água de reúso e do Brasil realizar a prática de reúso em alguns estados, inexistente uma legislação específica brasileira tratando da temática. Devido à escassez de água na região semiárida do Nordeste brasileiro, a disposição controlada de água residuária no solo como técnica de pós-tratamento pode ser caracterizada como método apropriado de disposição final, pois aporta uma série de vantagens como o benefício agrícola, o baixo investimento, o pequeno custo de operação, o baixo consumo de energia e, sobretudo, o impedimento de descargas de substâncias poluentes nos corpos de água que, no caso da região semiárida nordestina, se constituem de reservas hídricas de aluviões de rios secos que significam praticamente os únicos aquíferos disponíveis para as populações rurais e pequenas cidades (Lucas Filho et al., 2001).

Capra e Scicolone (2004) afirmam que, em muitas partes do Mundo, a água residuária vem sendo aplicada às culturas, florestas, parques e campos de golfe. Em Israel mais especificamente, a irrigação com água residuária é realizada em mais de 65% da produção total de esgotos sanitários do País (Bosco, 2007).

A aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas. Os maiores benefícios dessa forma de reúso são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. Os benefícios econômicos estão associados ao aumento da área cultivada e da produtividade, os quais são mais significativos nas áreas irrigadas apenas pelas chuvas. Quando se trata dos benefícios ambientais e de saúde pública reduz a descarga de esgotos em corpos de água, preservando os recursos subterrâneos e o solo, além de contribuir para o aumento da produção de alimentos, elevando a qualidade de vida em áreas carentes (Mancuso e Santos, 2007).

Na medida em que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países estão atingindo condições de escassez de água ou se defrontando com limites para o desenvolvimento econômico. O manejo adequado da água doce como recurso finito e

vulnerável e a integração de planos e programas hídricos setoriais aos planos econômicos e sociais nacionais são medidas de importância fundamental para garantir água de qualidade, com vista à sobrevivência do homem no planeta (Agenda 21).

O volume de água demandado pela agricultura irrigada no Brasil é superior a 70% do total consumido; os 30% remanescentes se destinam a usos domésticos e industriais, em partes iguais. É provável que, antes do término desta década, a agricultura apresente uso próximo a 80%, aumentando os conflitos que hoje ocorrem na grande maioria das bacias hidrográficas brasileiras, em especial naquelas com desenvolvimento agrícola e uso urbano significativo (Hespanhol, 2007).

Desta forma, o caminho para assegurar o volume de água requerida pela irrigação abrange a reutilização das águas residuárias das cidades, após seu tratamento. Para tanto, é necessário priorizar a garantia dos padrões de higiene e a não existência de efeitos adversos do reúso ao ambiente (Salem, 1996).

Assim, a reutilização de efluentes reduz a necessidade de captação de águas primárias em mananciais naturais e, devido à menor geração de efluentes finais, minimiza a poluição dos corpos de água, que é outra forma de esgotar a capacidade dos mananciais, pela degradação da qualidade (Hespanhol, 2000). Essas duas consequências do reúso possibilitam conservar os recursos hídricos naturais para uso mais restritos. Para Mancuso e Santos (2007), a economia de águas naturais é, geralmente, maior do que se apresenta haja vista que, evitando a poluição ambiental, são poupadas grandes quantidades que seriam utilizadas para vários fins. E se não bastassem as razões econômicas e sociais (desenvolvimento sustentável), o reúso da água também é viável financeiramente pois reduz os custos associados ao manejo dos efluentes (monitoramento, manutenção de redes de transportes, multas ambientais, etc.).

#### **2.4. O algodoeiro**

O algodoeiro herbáceo (*G. hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) é uma das principais culturas exploradas no Brasil, situando com 5º produtor mundial, com o total de 47.376,7 milhões de toneladas colhidos na safra 2009/2010, além de ser o quarto maior exportador de algodão, seguido dos Estados Unidos, Uzbequistão e Austrália (CONAB, 2010).

O cultivo do algodoeiro está presente em 15 estados brasileiros. A migração da cotonicultura da região Nordeste para a região Central do País foi impulsionada pelas

condições mais favoráveis ao desenvolvimento da atividade na nova fronteira agrícola. Cultivares adaptados, clima favorável, áreas planas, incentivos governamentais e a disposição dos produtores rurais, estão entre os fatores que determinaram o estabelecimento da cultura no cerrado. A mudança teve tanto êxito que Mato Grosso se tornou o maior produtor nacional de algodão, seguido da Bahia; na safra 2009/10 esses Estados colheram, respectivamente, 9.138,5 milhões e 2.858,3 milhões de toneladas de algodão em caroço (CONAB, 2010).

Porém, ainda segundo dados do Acompanhamento da Safra Brasileira, além dos estados do Centro Oeste, que têm grande representatividade na produção de algodoeiro no País há, também, tendência relevante de crescimento nos Estados da região Norte/Nordeste, com destaque para a Bahia (região de Barreiras) onde os dados da pesquisa indicam crescimento de 17 a 22% na área plantada, em relação à safra de 2009.

No semiárido nordestino, o plantio tem sido uma das principais atividades do meio rural, sobremaneira, para os pequenos e médios produtores, tornando-se imprescindível para a geração de empregos e para melhor distribuição de renda na região. Vale ressaltar que o algodão produzido em termos de qualidade intrínseca, é considerado um dos melhores do mundo, por apresentar elevado grau de reflectância e de uniformidade de comprimento da fibra fato que se deve, sem dúvida, à colheita manual realizada pelos agricultores da região. Outra vantagem do seu cultivo no Nordeste do Brasil é o baixo custo da produção em comparação a outras regiões do País devido à pouca utilização de insumos principalmente de fertilizantes inorgânicos, herbicidas e inseticidas, segundo o Ministério da Agricultura (2004).

Durante a maior parte do ciclo da planta diversos eventos ocorrem ao mesmo tempo, como crescimento vegetativo, aparecimento de gemas reprodutivas, florescimento, crescimento e maturação dos frutos. Cada um desses eventos é importante para a produção final mas é necessário que ocorram de modo balanceado. Durante boa parte do ciclo da planta dá-se forte competição por carboidratos. Entender os principais processos fisiológicos que acontecem durante cada estágio de crescimento, é significativo para o manejo adequado da cultura e para a obtenção de produtividades que garantam a rentabilidade da lavoura (Rosolem, 2001).

O algodoeiro caracteriza-se como planta de crescimento inicial lento, passando a crescer rapidamente a partir do surgimento dos primeiros botões florais, que se dá no ramo localizado entre o quarto e sexto nó, acima do nó cotiledonar. A marcha de absorção dos

nutrientes pela planta segue o padrão de crescimento, aumentando significativamente a partir do surgimento dos primeiros botões florais, alcançando o máximo na fase de crescimento dos frutos (Carvalho et al., 2007).

Não ocorrendo condições adversas de estresses de umidade, temperatura, pragas e doenças, o ciclo do algodoeiro pode ser dividido em cinco fases, ou seja, a primeira compreende o período entre a semeadura e a emergência, onde ocorrem a embebição e a germinação da semente, além do estabelecimento dos cotilédones, com duração média de quatro a dez dias, podendo prolongar-se sob condições desfavoráveis. Na segunda fase surge o primeiro botão floral o que, em geral, ocorre aos 30 dias após a emergência (DAE). A terceira fase se caracteriza pelo aparecimento da primeira flor, entre 45 a 60 DAE. Na quarta fase dá-se a abertura da primeira maçã, entre 90 e 120 DAE e, finalmente, a quinta fase inclui o período de colheita, quando as maçãs estão completamente abertas o que ocorre, em média, após 120 DAE, dependendo da cultivar e das condições ambientais (Beltrão e Souza, 2001).

O algodoeiro produz uma das fibras mais utilizadas no mundo; sua qualidade vem se tornando uma questão importante nos últimos anos, de vez que a globalização e mudanças tecnológicas na indústria têxtil têm exigido fibras de maior qualidade para máxima eficiência e competitividade no mercado (Saha et al., 2011). Para Faulkner et al. (2011), uma série de parâmetros influencia na qualidade da fibra e dos fios dos tecidos produzidos a partir de fibras-primas e, portanto o preço que os consumidores estão dispostos a pagar por essas fibras.

#### **2.4.1. Nutrição do algodoeiro**

Em termos de nutrição, o algodoeiro herbáceo se caracteriza como cultura altamente exigente; por apresentar elevada sensibilidade à deficiência de nutrientes, sendo necessário teor adequado de nitrogênio, potássio, enxofre e boro (Crozier, 2008). No entanto a absorção de nutrientes pode ser limitada, tanto pelo menor crescimento do sistema radicular como também pela redução da atividade radicular, causada por fatores físicos e químicos do solo (Carvalho et al., 2001).

A necessidade de adubo na fase inicial de crescimento da planta com pequeno crescimento radicular que se observa nos primeiros 10 dias, é mínima (Silva, 1999), de modo que a aplicação de adubos pode se tornar prejudicial caso o fertilizante não seja

aplicado adequadamente. A importância da aplicação de quantidades adequadas de nutrientes nas plantas é bem conhecida. No entanto, a resposta aos fertilizantes pode ser limitada pela localização imprópria, particularmente do ponto de vista da injúria dos sais às plântulas, uma das causas da diminuição da população de plantas (Tisdale e Nelson, 1966 citado por Souza et al., 2007). Constatou-se aumento na frequência de efeitos positivos da adubação potássica quando essa injúria foi evitada (Silva, 1999).

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

Dentre esses nutrientes o nitrogênio é considerado o mais importante para o algodoeiro devido à grande exigência pela cultura e extração pelo solo em maiores quantidades, sua falta pode interferir nos aspectos de qualidade e quantidade da produção (Carvalho et al., 2009). Além de ser o macro nutriente retirado em maior proporção do solo é fundamental para o desenvolvimento da planta, principalmente dos órgãos vegetativos, crescimento do caule e altura da planta, influencia também na quantidade e na densidade de folhas e frutos. Por outro lado o fornecimento excessivo pode prorrogar o ciclo da cultura.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Figura 2, município de Campina Grande, PB, cujas coordenadas geográficas são: 7°12'52" de latitude Sul, 35°54'24" de longitude Oeste e altitude média de 550 m.



**Figura 2.** Mapa de localização do ambiente protegido

O clima da região, conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil, é do tipo As, tropical, com chuvas de inverno e verão seco. O local apresenta temperaturas médias máximas de 33 °C e mínima de 23 °C, nos dias mais quentes de verão 28 °C e 15 °C em dias de inverno; a umidade relativa do ar está entre 75 e 82 % e, normalmente, o inverno começa em maio e termina em agosto (Coelho e Soncin, 1982).

#### 3.2. Delineamento estatístico

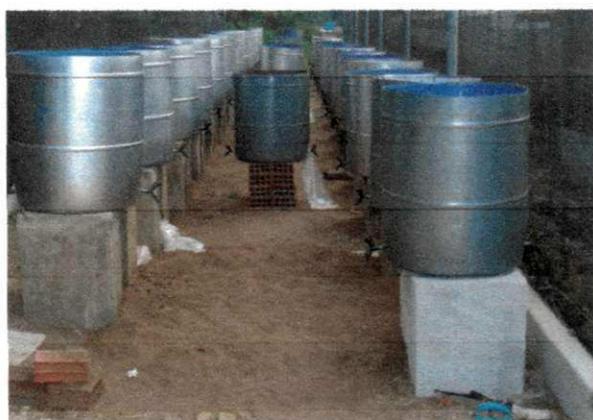
O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 6x2. Utilizaram-se seis doses de nitrogênio disponível no composto de resíduo sólido (0, 60, 100, 140, 180 e 220 kg de N ha<sup>-1</sup>) e duas qualidades de

água de irrigação (água de abastecimento e água residuária). Para o cálculo da quantidade de nitrogênio foi levada em consideração a concentração desse nutriente no composto orgânico.

### 3.3. Confeção das unidades experimentais

Cada parcela experimental se compunha de um vaso com capacidade volumétrica equivalente a 230 litros e altura de 70 cm. A colocação do material nos vasos se deu em camadas: na parte inferior dos vasos foram adicionados 20 cm de brita número zero + areia para facilitar a drenagem e evitar perda de material de solo; em seguida, 20 cm de solo peneirado e, por último, uma camada de 20 cm com solo o qual foi homogeneizado com composto de resíduo sólido urbano. Em todos os vasos foi deixada uma folga de 10 cm na parte superior dos vasos para facilitar o manejo de irrigação e tratos culturais.

Os vasos foram perfurados nas duas laterais para o encaixe de torneiras com mangueiras para facilitar o escoamento do fluxo drenado até as garrafas plásticas, Figuras 3A e 3B.



(A)



(B)

**Figura 3.** Vista geral do experimento (montagem das unidades experimentais (A) e vista geral do sistema de drenagem (B))

### 3.4. Solo utilizado

O material de solo utilizado no preenchimento dos vasos foi coletado nas imediações do distrito de São José da Mata, no município de Campina Grande, PB, cuja coleta ocorreu nos primeiros 20 cm da camada superficial. O solo foi classificado como

sendo NEOSSOLO REGOLÍTICO (EMBRAPA, 2006), tipo franco arenoso, não salino e não sódico. Para o preenchimento dos vasos o solo foi apenas seco ao ar e peneirado, não passou por nenhum tipo de tratamento.

Para que fosse realizada a caracterização física e química (Quadro 1), amostras de solo foram coletadas secas ao ar, destorroadas, homogenizadas e peneiradas com malha de 5 mm, sendo em seguida encaminhada ao laboratório.

**Quadro 1.** Análise dos atributos físicos e químicos do Neossolo Regolítico utilizado no preenchimento dos vasos

<b>Características físicas</b>	
Areia (%)	83,72
Silte (%)	11,08
Argila (%)	5,20
Umidade (%)	10
Densidade do solo	1,52
Densidade da partícula	2,74
Porosidade total	44,52
<b>Características químicas</b>	
Cálcio (meq L <sup>-1</sup> )	0,87
Magnésio (meq L <sup>-1</sup> )	1,63
Sódio (meq L <sup>-1</sup> )	1,73
Potássio (meq L <sup>-1</sup> )	0,88
Enxofre (meq 100g <sup>-1</sup> )	5,12
Hidrogênio (meq 100g <sup>-1</sup> )	0,79
Alumínio (meq 100g <sup>-1</sup> )	ausente
Carbonato de Cálcio Qualitativo	ausente
Carbonato	0,0
Carbono Orgânico (%)	0,52
Matéria Orgânica (%)	0,836
Nitrogênio (%)	0,052
Fósforo Assimilável (mg 100g <sup>-1</sup> )	2,85
Cloreto (meq L <sup>-1</sup> )	2,50
Bicarbonato (meq L <sup>-1</sup> )	2,70
pH (extrato de saturação)	6,37
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	6,60
CE (extrato de saturação) (mmhos cm <sup>-1</sup> )	571,3
Porcentagem de saturação (%)	19,66

\* Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande

### 3.5. Caracterização do composto orgânico oriundo de resíduo sólido

O composto de resíduo sólido urbano foi adquirido na usina de reciclagem do município de Esperança, PB; no processo de compostagem o material ficou incubado durante de 120 dias, *tempo suficiente para que a matéria orgânica fosse estabilizada pela ação de micro-organismos.*

Após a coleta, a amostra do composto foi acondicionada em isopor com gelo e, em seguida, encaminhada para as análises, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) onde foi realizada a *caracterização dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e metais pesados.*

Foram determinadas as concentrações de: Macros nutrientes (Nitrogênio total, Potássio, Fósforo, Cálcio, Magnésio, Sódio), Micros nutrientes (Boro, Cobre, Ferro, Manganês, Zinco), Metais pesados (Cádmio, Cobre, Níquel, Chumbo), umidade, pH, Matéria Orgânica, Relação C/N e Carbono Orgânico. A amostra foi analisada no Laboratório de Fertilizantes e Resíduos do Instituto Agronômico de Campinas, método de ensaio: Instrução Normativa 28 de 27/07/2007, já os parâmetros biológicos: Ovos viáveis de helmintos, coliformes termotolerantes, foram analisados pelo método EPA, 1992, part 503.

Antes do composto orgânico ser incorporado ao solo, foi peneirado em malha de 5 mm de abertura para retirada de material grosseiro.

### 3.6. Cultura utilizada e tratamentos culturais

A variedade de algodão utilizada foi a EMBRAPA 286, lançada em 2009; avaliada em condições de cerrado, em cinco safras, ela obteve produtividade média de algodão em caroço 4.874 kg ha<sup>-1</sup> e de 1.995 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em pluma. Seu ciclo varia entre 140 e 160 dias após a emergência; com uso de regulador de desfolhante e maturador, as plantas podem chegar a 120 cm de altura (EMBRAPA, 2009).

As sementes foram cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPQ-EMBRAPA) e a *semeadura foi feita de forma direta nas unidades experimentais em número de cinco sementes colocadas a 1 cm de profundidade. Os desbastes foram realizados aos 5 dias após a germinação, Figura 4A, deixando duas plantas por vaso e a última aos 15 dias após a germinação, Figura 4B, quando se deu a primeira leitura biométrica.*



(A)



(B)

**Figura 4.** Plantas com 5 dias após a germinação (A) e Plantas com 15 dias após a germinação (B)

Durante o ciclo da cultura, que foi de 140 dias, realizou-se o controle manual de plantas daninha. O controle de pragas foi realizado de acordo com a necessidade da cultura e teve caráter preventivo, visando o desenvolvimento adequado das plantas e preservando a qualidade da produção, sementes e fibra.

### **3.7. Irrigação das unidades experimentais**

A irrigação das plantas foi feita com duas fontes distintas de água: água potável e água residuária doméstica tratada, em que a água potável foi proveniente do sistema de abastecimento do município de Campina Grande, PB, coletada no momento das irrigações; já a água residuária doméstica tratada era bombeada após passar pelo sistema de tratamento de esgotos UASB (Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente) instalado na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, e armazenada em caixa com capacidade para 500 L. As análises da água residuária doméstica tratada foram feitas a cada 45 dias, a partir do momento em que se iniciou a irrigação, Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química das águas utilizadas nas irrigações, água potável e residuária doméstica tratada

Parâmetros	Água Potável	Água Residuária Tratada		
		45 dias	90 dias	135 dias
Ph	7,3	8,30	8,30	8,70
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,30	1,32	1,43	1,45
P-Total (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	3,59	3,52	3,68
K (mg L <sup>-1</sup> )	5,43	19,20	24,70	14,70
N-Total (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	28,6	28,5	31,1
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	20	98,20	91,00	62,60
Mg (mg L <sup>-1</sup> )	15,5	33,40	29,50	16,70
Na (mg L <sup>-1</sup> )	35,57	140,60	134,20	114,50
Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,01	0,01	0,01
Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,08	0,06	0,05
Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,01	0,01	0,01
Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,03	0,01	0,02

Análises realizadas no Laboratório de Referência em Dessalinização (Labdes) da Universidade Federal de Campina Grande

Após a emergência das plântulas a irrigação foi realizada a cada dois dias, com reposição da evapotranspiração da cultura e se levando em consideração os coeficientes de cultivo semanais, determinados por Azevedo et al. (1993) para cultivares precoces de algodoeiro herbáceo, no estado da Paraíba, Equação 1.

$$ET_c = ETo \times Kc$$

Eq. 1

em que:

ET<sub>c</sub> = evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>

ETo = evapotranspiração de referência, em mm dia<sup>-1</sup>

Kc = coeficiente de cultivo

A ETo foi calculada pelo método do Tanque Classe "A", a partir de dados meteorológicos obtidos pela estação meteorológica do INMET, situada no município de Campina Grande, PB, como se segue:

$$ET_o = K_p \times EV$$

Eq. 2

em que:

$K_p$  = coeficiente de tanque

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

O coeficiente de tanque ( $K_p$ ) adotado foi 0,75, de acordo com as características da estação meteorológica (Allen et al., 1998). Foram utilizados os coeficientes de cultivo semanais determinados por Azevedo et al. (1993) para cultivares precoces de algodoeiro herbáceo no estado da Paraíba, conforme o Quadro 2.

**Quadro 2.** Coeficiente semanal de cultura para o algodoeiro de ciclo médio estimado pelo método do Tanque Classe “A”

Kc semanais																		
1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª
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)

A irrigação com água residuária doméstica tratada iniciou-se após a germinação das plântulas, isto é, quinto dia após a semeadura.

### 3.8. Parâmetros avaliados

#### 3.8.1. Variáveis de crescimento do algodoeiro

A análise de crescimento se deu a cada 15 dias após a emergência, pelo período de 105 dias. Foram avaliados os seguintes parâmetros: altura das plantas, comprimento e número das folhas, para o cálculo da área foliar.

A altura da planta foi determinada em centímetros, desde o colo da planta até a extremidade do broto terminal; para estimar a área foliar e o número de folhas, levaram-se em consideração, na contagem direta, as folhas que apresentavam, completamente abertas, tamanho igual ou superior a 3 cm de comprimento.

**Tabela 1.** Caracterização química das águas utilizadas nas irrigações, água potável e residuária doméstica tratada

Parâmetros	Água Potável	Água Residuária Tratada		
		45 dias	90 dias	135 dias
Ph	7,3	8,30	8,30	8,70
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,30	1,32	1,43	1,45
P-Total (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	3,59	3,52	3,68
K (mg L <sup>-1</sup> )	5,43	19,20	24,70	14,70
N-Total (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	28,6	28,5	31,1
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	20	98,20	91,00	62,60
Mg (mg L <sup>-1</sup> )	15,5	33,40	29,50	16,70
Na (mg L <sup>-1</sup> )	35,57	140,60	134,20	114,50
Zn (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,01	0,01	0,01
Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,08	0,06	0,05
Fe (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,01	0,01	0,01
Mn (mg L <sup>-1</sup> )	Ausente	0,03	0,01	0,02

\* Análises realizadas no Laboratório de Referência em Dessalinização (Labdes) da Universidade Federal de Campina Grande

Após a emergência das plântulas a irrigação foi realizada a cada dois dias, com reposição da evapotranspiração da cultura e se levando em consideração os coeficientes de cultivo semanais, determinados por Azevedo et al. (1993) para cultivares precoces de algodoeiro herbáceo, no estado da Paraíba, Equação 1.

$$ET_c = E_{T_o} \times K_c \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

$E_{T_c}$  = evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>

$E_{T_o}$  = evapotranspiração de referência, em mm dia<sup>-1</sup>

$K_c$  = coeficiente de cultivo

A  $E_{T_o}$  foi calculada pelo método do Tanque Classe "A", a partir de dados meteorológicos obtidos pela estação meteorológica do INMET, situada no município de Campina Grande, PB, como se segue:

$$ET_o = K_p \times EV$$

Eq. 2

em que:

$K_p$  = coeficiente de tanque

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

O coeficiente de tanque ( $K_p$ ) adotado foi 0,75, de acordo com as características da estação meteorológica (Allen et al., 1998). Foram utilizados os coeficientes de cultivo semanais determinados por Azevedo et al. (1993) para cultivares precoces de algodoeiro herbáceo no estado da Paraíba, conforme o Quadro 2.

**Quadro 2.** Coeficiente semanal de cultura para o algodoeiro de ciclo médio estimado pelo método do Tanque Classe “A”

Kc semanais																		
1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª
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)

A irrigação com água residuária doméstica tratada iniciou-se após a germinação das plântulas, isto é, quinto dia após a semeadura.

### 3.8. Parâmetros avaliados

#### 3.8.1. Variáveis de crescimento do algodoeiro

A análise de crescimento se deu a cada 15 dias após a emergência, pelo período de 105 dias. Foram avaliados os seguintes parâmetros: altura das plantas, comprimento e número das folhas, para o cálculo da área foliar.

A altura da planta foi determinada em centímetros, desde o colo da planta até a extremidade do broto terminal; para estimar a área foliar e o número de folhas, levaram-se em consideração, na contagem direta, as folhas que apresentavam, completamente abertas, tamanho igual ou superior a 3 cm de comprimento.

O cálculo da área foliar (AF) individual foi estimado com o auxílio da equação 3, proposta por Grimes e Carter (1969):

$$AF = 0,4322 C^{2,3002} \quad \text{Eq. 3}$$

em que:

AF – área foliar folha<sup>-1</sup>, expressa em cm<sup>2</sup>;

C – comprimento da nervura principal da folha, expresso em cm.

A partir da Equação 3, sugerida por Grimes e Carter (1969) tem-se a equação 4:

$$AF_{total} = \sum(0,4322 C^{2,3002}) \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

$\Sigma$  – soma das folhas

### 3.8.2. Massa seca da planta

Ao final do ciclo do algodoeiro, que ocorreu aos 140 dias, as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea (galhos e folhas) e raiz. Após a coleta as plantas foram lavadas com água destilada e secadas com papel absorvente, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e colocadas em estufa 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. As análises dos teores de metais pesados contidos nas plantas de algodoeiro foram realizadas no Instituto Agrônomo de Campina (IAC).

### 3.8.3. Componentes de produção

Os componentes da produção foram avaliados por ocasião da colheita das plantas, quando as mesmas se encontravam no estágio de maturação fisiológica adequada; as variáveis analisadas foram: Número de Capulhos (NP), Peso de 1 Capulho (PC), Peso de

100 sementes (PS), Peso dos Capulhos (PCap), Peso dos Carços (PCar) e Peso da Pluma (PP).

Após a coleta dos capulhos de cada planta, elas foram contados e sua massa determinada de modo de se obter o número médio de capulho por planta e o peso médio de cada capulho para cada um dos tratamentos; em seguida, foram separados os caroços da pluma a fim de se ter o peso médio de 100 sementes e o percentual de fibras.

#### **3.8.4. Componentes de qualidade da fibra**

Ao final do ciclo do algodoeiro as amostras de plumas foram embaladas em sacos de papel, identificadas e enviadas ao Laboratório de Análise de Fibra da EMBRAPA Algodão, em Campina Grande, PB. Utilizou-se o instrumento HVI (High Volume Instrument), para determinação das seguintes características: Comprimento de Fibra (UHM), Uniformidade de Comprimento (UNF), Índice de Fibras Curtas (SFI), Resistência de Fibra (STR), Alongamento à Ruptura (ELG), Índice Micronaire (MIC) e Maturidade (MAT).

De modo a atender à norma internacional ISO 139/ASTM D 1776/ NBR 8428-84 para análise de fibras, as amostras permaneceram 24 h no Laboratório, na temperatura de  $20 \pm 1$  °C e umidade relativa de  $65 \pm 2\%$ , para atingir o equilíbrio higrométrico (aclimatização).

#### **3.8.5. Variáveis Fitoextratoras**

Os teores dos metais pesados cobre e zinco disponíveis no solo das unidades experimentais calculados para cada nível de nitrogênio pré-estabelecido (0, 60, 100, 140, 180 e 220 kg de N ha<sup>-1</sup>), foram: 0; 37,32; 62,20; 87,08; 111,96; 136,85 mg de cobre e 0; 128,01; 213,45; 298,83; 384,21 e 469,60 mg de zinco em cada vaso.

Para analisar a absorção desses metais e verificar a possível tendência do algodoeiro, variedade BRS 286, ser enquadrado como planta fitoextratora, no final do ciclo, as plantas foram coletadas e divididas em duas partes (aérea e raiz) e encaminhadas ao laboratório. Aqui as raízes e a parte aérea de cada planta foram lavadas com água destilada e secadas em papel absorvente para retirar qualquer impureza possível de interferir na qualidade da análise. Em seguida todas as amostras foram colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa a 65° C, com ventilação forçada até atingirem o peso

constante, por um período de 72 horas, tempo suficiente para que houvesse equilíbrio no peso de massa seca.

Após sua secagem as amostras foram encaminhadas ao Instituto Agronômico de Campinas, onde foram feitas as análises de metal pesado, segundo metodologia própria. Por meio da quantidade acumulada na parte aérea e nas raízes, calcularam-se a percentagem de acúmulo de metais pesados (zinco e cobre) em relação ao acúmulo total e o índice de translocação dos elementos, através das seguintes equações (5 e 6):

Após determinação dos teores de zinco e cobre nas plantas (parte aérea e raiz), foi calculado o coeficiente de fitoextração (CF), de acordo com Chantachon et al. (2004):

$$CF = \frac{\text{Teor do metal (mgkg}^{-1}\text{) na parte aérea}}{\text{Teor do metal (mgkg}^{-1}\text{) inicial do solo}} \quad \text{Eq. 5}$$

A translocação dos elementos foi avaliada por meio do índice de translocação (IT), em que se estima a capacidade da planta em translocar os elementos da raiz para a parte aérea. Para o cálculo do índice de translocação foram levados em conta os dados de produção de matéria seca do algodoeiro e os teores de zinco e cobre extraído pelas plantas; com base nessas informações foi utilizada a equação proposta por (Abichequer e Bohnen, 1998).

$$IT(\%) = \frac{\text{Quantidade do metal acumulada na parte aérea}}{\text{Quantidade do metal acumulada na planta}} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

### 3.9. Análise estatística dos dados

A avaliação estatística dos dados foi realizada no SISVAR-ESAL (Ferreira, 2000) e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F. Para a comparação entre médias utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Qualidade do composto orgânico

O composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano utilizado no experimento foi produzido na usina de reciclagem do município de Esperança, PB, cuja caracterização, realizada de acordo com procedimentos descritos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Instrução Normativa n° 28 se encontra no Quadro 3.

**Quadro 3.** Caracterização do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano\*

Parâmetros	Valores
pH	8,0
Umidade a 60 – 65 °C (%)	48,5
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	115
Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	73,8
Nitrogênio Kjeldahl (g kg <sup>-1</sup> )	8,4
Relação C/N	8,8
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	15,0
Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )	<1,0 <sup>(1)</sup>
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	23,8
Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )	29,2
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	47,5
Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	1,7
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	11788
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	2,6
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	2,5
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	106
Níquel (mg kg <sup>-1</sup> )	25,9
Potássio (mg kg <sup>-1</sup> )	5145
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	163

\* Análise realizada no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)

(1) Não determinado, concentrações menores que o limite de quantificação pelo aparelho

De acordo com as resoluções e normas vigentes brasileiras (Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) quanto ao uso de fertilizantes no solo o composto

de resíduo sólido urbano produzido na usina de reciclagem do município de Esperança, PB, pode ser utilizado para fins agrícolas, pois seus parâmetros estão dentro dos valores recomendados pela Instrução Normativa SDA nº 27, 05 de junho de 2006, conforme o MAPA.

Além de outros fatores, a qualidade do composto orgânico depende do tipo de coleta, do nível tecnológico do local, da qualidade de vida dos habitantes da cidade, além do manejo do material que está sendo compostado. O que pode ter sido determinante para quantidade detectada de ferro de  $11788 \text{ mg kg}^{-1}$  no material compostado, além da falta de coleta seletiva no município brasileiros, contribuindo na qualidade final do material compostado.

Percebe-se que o composto orgânico produzido na usina de reciclagem do município de Esperança, PB, possui teores consideráveis de N, P e Ca, 8,40; 2,60 e  $23,8 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente. Estes elementos são essenciais ao desenvolvimento das plantas, Quadro 3, Moreira et al. (2005) verificaram, utilizando composto orgânico de lixo urbano proveniente da usina Santa Leopoldina, São Paulo, verificaram valores de 18; 2,4 e  $8,9 \text{ g kg}^{-1}$ , para nitrogênio, potássio e cálcio, respectivamente. Já Mantovani et al. (2005) analisando o efeito da adubação nitrogenada na produção de alface, utilizou composto orgânico com teores equivalentes a 14; 4 e  $2 \text{ g kg}^{-1}$ , nitrogênio, potássio e cálcio, respectivamente. Verifica-se que no composto orgânico utilizado nesta pesquisa os valores de potássio e cálcio são superiores aos encontrados por Moreira et al. (2005) e Mantovani et al. (2005).

O composto orgânico utilizado por Ruppenthal e Castro (2005), proveniente da usina de reciclagem e compostagem de lixo urbano do município de Marechal Cândido Rondon, PR, possui teor de matéria orgânica de  $248 \text{ g kg}^{-1}$ , aproximadamente duas vezes maior que o observado no compostado em Esperança, PB.

A quantidade de metais pesados encontrados em compostos oriundos de misturas de resíduos industriais com resíduos domésticos, tem sido determinante para o uso na agricultura pois, quando não absorvidos pelas plantas, podem ser acumulados nos solos, deixando estas vulneráveis a concentrações tóxicas. Em grande quantidade, principalmente o chumbo, zinco, cobre e níquel, no solo ou em quantidade excessiva para as plantas, estes metais podem afetar o crescimento vegetal desta. Nesse caso em particular, os valores determinados para os metais pesados se encontram nos limites recomendados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para fertilizantes orgânicos.

Analisando os teores de metais pesados, cobre e zinco, no composto verifica-se, Quadro 3, que seu conteúdo é inferior aos encontrados por Mantovani et. al. (2005), produzidos na Usina de Reciclagem de Lixo da cidade de Assis, SP, de 181 mg kg<sup>-1</sup> de cobre e 544 mg kg<sup>-1</sup> de zinco. Provavelmente, isto se deva as diferenças no nível econômico dos habitantes dos municípios, que define o consumo de bens, uma vez que metais encontrados em lixo urbano estão associados a: baterias, eletrônicos e pilhas, entre outros; quando a qualidade do composto orgânico é comprometida por altos teores de metais pesados não deve ser utilizado em locais de utilização agrícola ou pastoril.

No Quadro 4 se encontra a determinação dos parâmetros biológicos do composto orgânico produzido no município de Esperança, PB.

**Quadro 4.** Resultado da análise biológica do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano\*

Parâmetros	Unidade <sup>(1)</sup>	Valores
Coliforme Termotolerantes	NMP <sup>2</sup> /g de MS	118,92
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/10g de MS	Ausente
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/4g de ST	0,19

\* Análise realizada no Instituto Agronômico de Campinas (IAC)

<sup>1</sup> Resultados expressos na amostra em base seca

<sup>2</sup> Número mais provável

Todos os valores determinados para os parâmetros biológicos estão abaixo dos valores máximos admitidos pela Instrução Normativa DAS n<sup>o</sup> 27, de julho de 2006, para fertilizantes orgânicos, de 1.000,00 NMP g<sup>-1</sup> de MS, ausência em 10 gramas de massa seca e 1,0 (n<sup>o</sup> em 4g de ST) Coliforme Termotolerantes, *Salmonella* sp. e ovos viáveis de helmintos, respectivamente, sendo adequado, portanto, ao uso agrícola, de acordo com a normatização brasileira.

Silva et al. (2002) realizaram uma pesquisa com um grupo de culturas diferentes para verificar a viabilidade do uso agrícola do composto de lixo urbano no estado de São Paulo, observaram que algumas culturas se mostraram mais sensíveis em relação a alguns componentes presentes no material compostado; por exemplo, para as hortaliças e mandioca, em especial, recomendaram o uso do composto proveniente de coleta seletiva, que deve estar isento de patógenos e baixas concentrações de compostos orgânicos. Para as demais culturas se utilizam os valores para patógenos equivalentes aos do biossólido classe

A, que possuem: *Salmonella* sp. – densidade inferior a 3 NMP/4g ST, coliformes fecais – densidade inferior a 1.000 NMP g<sup>-1</sup> ST e helmintos, densidade menor que 1/4g ST.

Os resultados observados por Silva et al. (2002), foram semelhantes aos determinados para o composto orgânico produzido pelos catadores do município de Esperança, Quadro 4.

Pesquisas têm comprovado a eficácia do uso de composto orgânico oriundo de resíduo sólido, em substituição à adubação química, tanto no incremento da produção quanto na melhoria da qualidade do solo devido aos teores de elementos essenciais encontrados nesses. Lima et al. (2011) utilizaram o composto de lixo urbano na formulação de substratos para o cultivo de plantas em recipientes e observaram melhoria na fertilidade do substrato, enquanto Nóbrega et al. (2008) comprovaram que o composto de lixo urbano foi capaz de fornecer nutrientes às mudas de orelha de macaco e estimular seu crescimento sem que houvesse necessidade de complementação de adubação química.

## **4.2. Parâmetros analisados**

### **4.2.1. Variáveis de crescimento do algodoeiro**

#### **4.2.1.1. Altura das plantas**

Na Tabela 2 se apresentam o resumo da análise de variância e valores médios da altura das plantas de algodão, em diferentes épocas e em resposta à irrigação com água residuária tratada e aplicação de diferentes doses de nitrogênio.

Na análise dos dados da referida tabela, constatou-se efeito significativo da qualidade da água aos 60, 75 e 90 dias após a emergência (DAE); para as doses de nitrogênio percebeu-se efeito significativo em todas as avaliações, com exceção apenas para a primeira leitura, aos 15 DAE; quando se analisa a interação (qualidade de água x doses de nitrogênio) verifica-se efeito significativo aos 60 e 90 DAE.

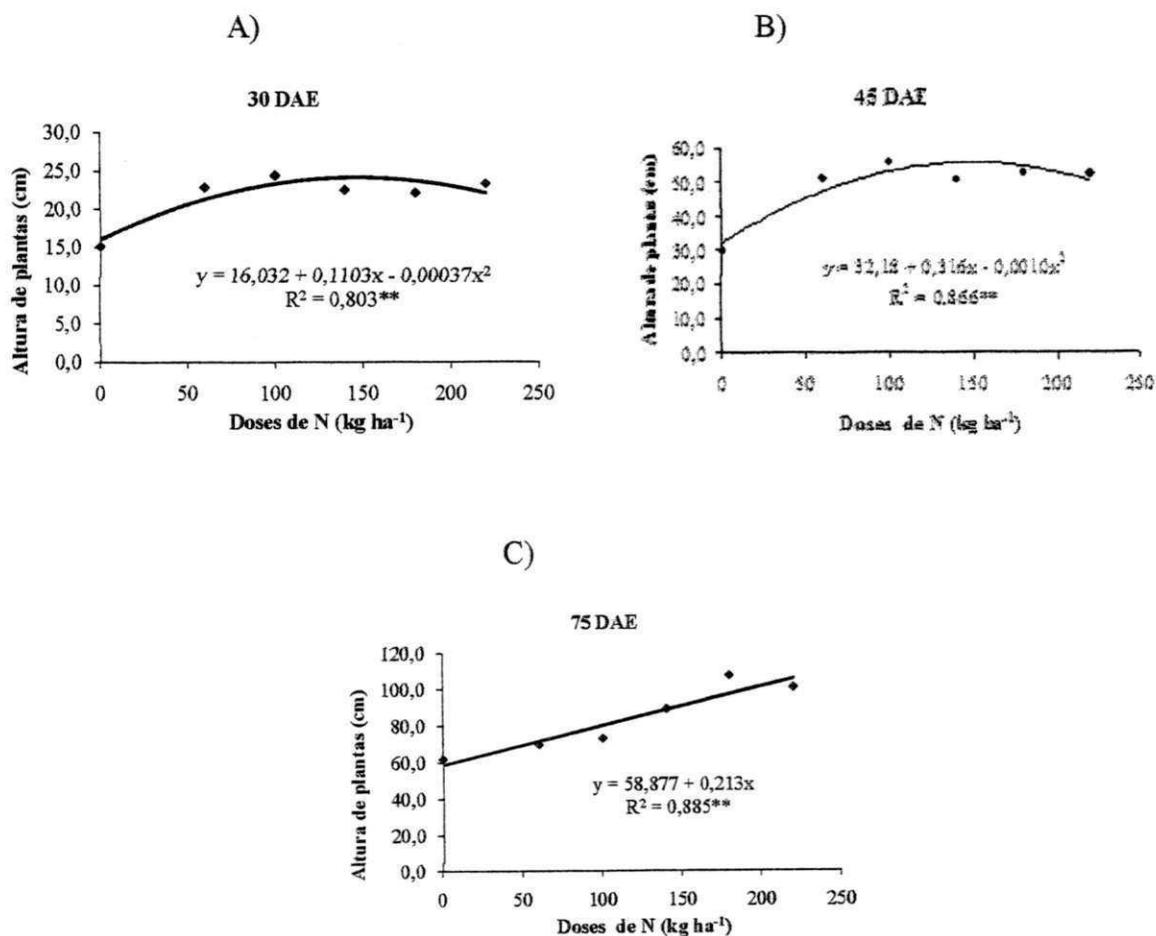
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável altura das plantas do algodoeiro ‘BRS 286 para a água potável e residuária doméstica tratada

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		15 DAE	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Tipo de água (A)	1	4,0669 <sup>ns</sup>	1,4002 <sup>ns</sup>	7,9336 <sup>ns</sup>	407,3669 <sup>**</sup>	815,1025 <sup>**</sup>	1312,8544 <sup>**</sup>
Doses de Nitrogênio (N)	5	4,9311 <sup>ns</sup>	66,7916 <sup>**</sup>	530,5296 <sup>**</sup>	837,3791 <sup>**</sup>	1990,5102 <sup>**</sup>	2903,2644 <sup>**</sup>
N x A	5	0,9382 <sup>ns</sup>	8,8956 <sup>ns</sup>	47,9562 <sup>ns</sup>	98,4862 <sup>**</sup>	61,2765 <sup>ns</sup>	77,2544 <sup>**</sup>
Regressão Linear	1	13,847015 <sup>ns</sup>	143,5035 <sup>**</sup>	1303,0896 <sup>**</sup>	4019,0408 <sup>**</sup>	8807,6930 <sup>**</sup>	12540,8388 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	0,072835 <sup>ns</sup>	124,8845 <sup>**</sup>	994,8612 <sup>**</sup>	75,07618 <sup>ns</sup>	23,5287 <sup>ns</sup>	154,0807 <sup>**</sup>
Regressão Cúbica	1	10,124851 <sup>ns</sup>	62,1057 <sup>**</sup>	291,7237 <sup>*</sup>	8,03264 <sup>ns</sup>	632,8196 <sup>**</sup>	1346,0495 <sup>**</sup>
Resíduo	24	4,7672	6,2622	41,7022	23,5038	24,3336	9,1811
Total	35						
CV (%)		16,51	11,50	13,20	6,99	5,89	3,16
<b>Doses de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Médias das alturas das plantas (cm)</b>					
0		11,9500	15,1333	39,3689	52,5494	58,8774	72,5833
60		13,3000	22,8500	44,2863	61,1854	71,6619	76,4166
100		13,5000	24,4333	47,5646	66,9427	80,1848	82,1666
140		12,8500	22,5333	50,8428	72,7001	88,7078	103,4166
180		13,0333	22,1833	54,1211	78,4574	97,2307	124,1000
220		14,7166	23,3833	57,3994	84,2147	105,7537	117,2500
<b>Fonte de água</b>							
Água potável		12,88 a	21,5555 a	48,4611 a	65,9777 b	78,9777 a	89,9500 b
Água residuária		13,56 a	21,9500 a	49,4000 a	72,7055 a	88,4944 b	102,0277 a

\*, \*\* e ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; GL: Grau de liberdade e CV: coeficiente de variação

Em função de doses crescentes de nitrogênio constata-se que o melhor ajuste, para as médias da variável altura de plantas foi o modelo de regressão linear para as leituras realizadas aos 30 e 75 DAE. Já para os 45 DAE os dados apresentaram comportamento quadrático, Tabela 2; ainda na mesma tabela se observa que os valores determinados para os coeficientes de variação foram considerados baixos, refletindo boa precisão experimental

Pela derivação da equação correspondente ao modelo quadrático, calcularam-se as doses de 149 e 158 de N ha<sup>-1</sup> que corresponderam às alturas máximas obtidas aos 30 e 45 DAE, as quais estão representadas na Figuras 5A e 5B.



**Figura 5.** Modelos de regressão para a altura de plantas do algodoeiro ‘BRS 286’ em diferentes épocas, irrigado com dois tipos de água e doses crescentes de nitrogênio

Na Tabela 2 se percebe, referindo-se às médias das alturas das plantas aferidas a cada 15 dias, percebe-se que todas as plantas irrigadas com água residuária doméstica tratada obtiveram altura significativamente superior à das plantas irrigadas com água potável em todas as avaliações realizadas após os 60 DAE. Sendo o incremento na altura verificado em maior destaque nas plantas avaliadas entre o intervalo de 75 a 90 DAE. Incremento verificado no crescimento vertical de plantas irrigadas com água residuária doméstica é verificado com frequência entre os pesquisadores; aqui se destacam: Lacerda (2006) que cultivou mamoneira, Khan et al. (2009) no cultivo do girassol e Alderfasi (2009) com tomate observaram incremento linear na altura das plantas devido, provavelmente, ao tempo de maturação do composto orgânico nas unidades experimentais aliado as características químicas da água residuária doméstica tratada.

Analisando isoladamente as doses de nitrogênio oriundas do composto orgânico verifica-se que as plantas que receberam  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  também mostraram maior crescimento nas condições de pesquisa, Tabela 2; segundo dados de lançamento da variedade BRS 286 (EMBRAPA, 2009), em condições de campo, as plantas apresentam pode atingir altura entre 110 a 120 cm, carecendo da aplicação de reguladores de crescimento; verifica-se, entretanto, que o uso do composto orgânico nas doses de nitrogênio de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $220 \text{ kg ha}^{-1}$ , proporcionou altura das plantas entre 124,10 a 117,25 cm, respectivamente.

Esses resultados vem corroborar com Camacho et al. (2009), que relatam que é o nitrogênio é o macronutriente que o algodoeiro retira do solo em maior proporção, sendo fundamental no desenvolvimento da planta, principalmente dos órgãos vegetativos, atuando no crescimento do caule no diâmetro e na altura, no número e comprimento dos ramos vegetativos e produtivos. Doses adequadas desse elemento estimulam o crescimento e o florescimento.

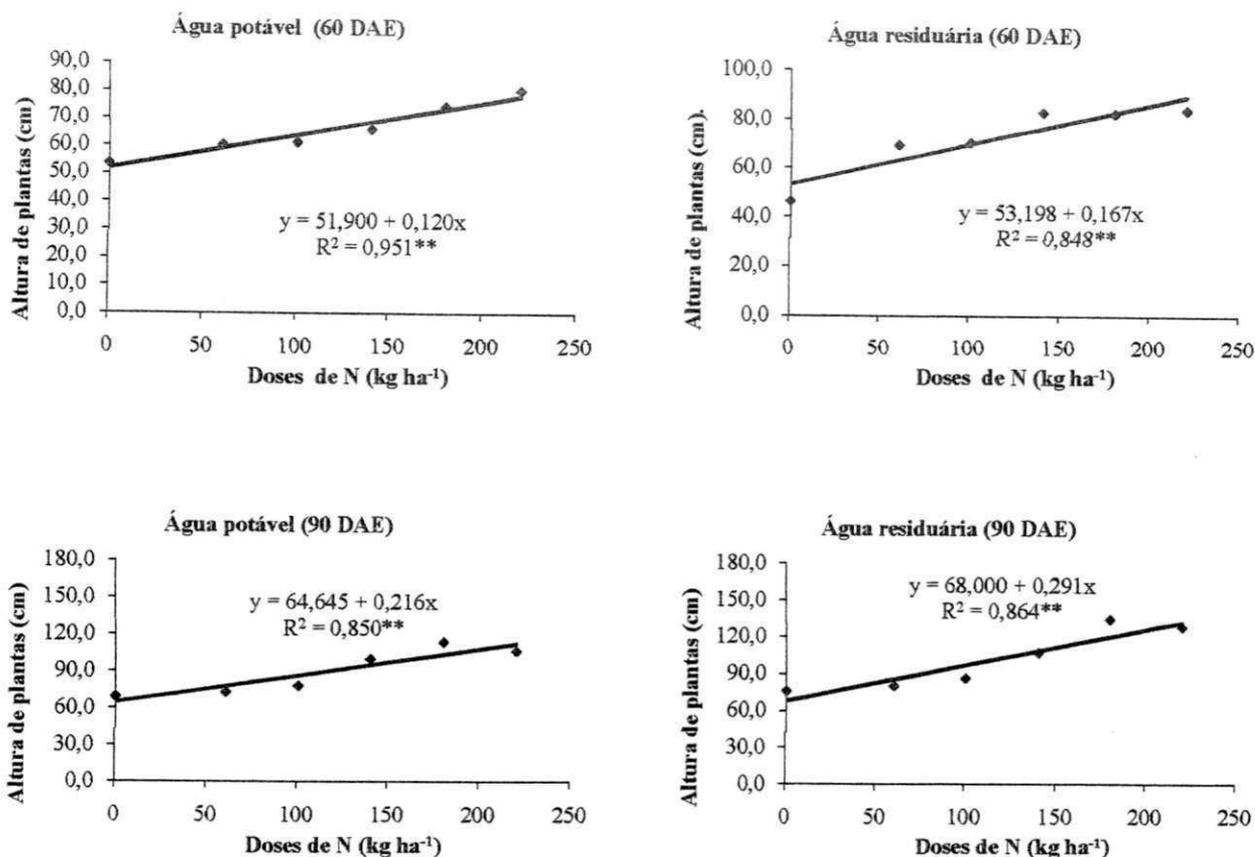
Campos et al. (1991), constataram, avaliando doses de nitrogênio da uréia no rendimento do algodoeiro aplicada no sulco de plantio, que houve efeito significativo, em que as doses de 80, 120 e  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N promoveram os melhores resultados, com médias de 76,4, 76,6 e 78,2 cm para altura de planta; apenas com o uso de água residuária doméstica as plantas de algodoeiro conseguiram altura superior aos 70 cm após os 60 DAE.

Ferreira (2003) encontrou, estudando níveis crescentes de nitrogênio e águas residuárias e de abastecimento na irrigação do algodão cultivar BRS 187 8H, alturas

médias aos 120 DAE de 73,28 cm e 69,79 cm para água residuária e abastecimento, respectivamente, inferiores aos encontrados nesta pesquisa, aos 90 DAE.

Figueirêdo et al. (2005) verificaram que a irrigação com água residuária incrementou, em quase 100%, a altura das plantas de algodão BRS 200 e BRS verde cultivadas em praticamente todos os períodos amostrados.

Com relação à resposta das doses de nitrogênio sob efeito da qualidade da água ao longo do ciclo da cultura, observa-se que tanto para a água potável como para a água residuária os valores médios da altura de planta, para os 60 e 90 DAE, se ajustaram a um modelo de regressão linear com boa correlação dos dados indicados pelo valor de  $R^2$ , superior a 80%, conforme visualizado na Figura 6. Na análise da figura se constata que um incremento de 40 kg de N  $ha^{-1}$  proporcionou acréscimo de 0,291 cm nas plantas irrigadas com água residuária aos 90 DAE.



**Figura 6.** Análise de regressão para o desdobramento da interação entre os tipos de água e doses de N referentes à altura de plantas do algodoeiro ‘BRS 286’ na última avaliação, aos 90 DAE

#### 4.2.1.2. Área foliar das plantas

Na Tabela 3 são apresentados o resumo das análises de variâncias e os valores médios referentes à área foliar de plantas (cm<sup>2</sup>) do algodoeiro ‘BRS 286’ em diferentes épocas (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 DAE) em função de duas qualidades de água e de seis doses de nitrogênio.

Verifica-se que a qualidade de água, a partir dos 45 DAE, a qualidade de água exerceu efeito significativo a 1% de probabilidade sobre a área foliar, para todas as avaliações realizadas. Para as doses de nitrogênio o efeito foi significativo, em todas as avaliações, exceto para as primeira e terceira leituras, 15 e 45 DAE, respectivamente. Para a interação entre os fatores doses de nitrogênio e os tipos de água de irrigação, houve efeito significativo para as leituras realizadas aos 15, 45, 90 e 105 DAE; para as outras épocas

analisadas percebe-se independência entre os mesmos (doses de nitrogênio e qualidade de água), visto que, aos 30, 60 e 75 DAE as plantas estão absorvendo nutrientes, disponíveis na água residuária e no composto orgânico, visando ao desenvolvimento de outras funções fisiológicas (floração, enchimento de capulhos).

Para a variável área foliar, os modelos de regressão indicaram uma relação linear para as doses de nitrogênio aplicadas via fertilizante orgânico, para todas as leituras, exceto aos 15, 30 e 60 DAE, apresentando significância a 1% de probabilidade, cujos resultados evidenciam que a área foliar das plantas aumentou de forma linear com o aumento das doses de nitrogênio.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável área foliar das plantas do algodoeiro ‘BRS 286 para a água potável e residuária doméstica tratada

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
		15 DAE	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE	105 DAE
Tipo de água (A)	1	46,503 <sup>ns</sup>	14552,047 <sup>ns</sup>	155802,707 <sup>**</sup>	849245,647 <sup>**</sup>	2115674,248 <sup>**</sup>	2842117,252 <sup>**</sup>	1852841,891 <sup>**</sup>
Doses de Nitrogênio (N)	5	81,704 <sup>ns</sup>	44372,155 <sup>*</sup>	189777,357 <sup>**</sup>	130364,935 <sup>ns</sup>	121611,822 <sup>*</sup>	313050,931 <sup>**</sup>	230500,653 <sup>**</sup>
N x A	5	242,708 <sup>*</sup>	12549,886 <sup>ns</sup>	9101,925 <sup>*</sup>	99120,58 <sup>ns</sup>	78783,4977 <sup>ns</sup>	157226,125 <sup>*</sup>	176129,036 <sup>*</sup>
Regressão Linear	1	0,590 <sup>ns</sup>	14104,706 <sup>ns</sup>	781724,220 <sup>**</sup>	315,890 <sup>ns</sup>	597844,956 <sup>**</sup>	1309603,183 <sup>**</sup>	813536,505 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	140,535 <sup>ns</sup>	355,295 <sup>ns</sup>	3294,437 <sup>ns</sup>	178192,645 <sup>ns</sup>	400,040 <sup>ns</sup>	40508,904 <sup>ns</sup>	48316,400 <sup>ns</sup>
Regressão Cúbica	1	203,589 <sup>ns</sup>	10407,752 <sup>ns</sup>	110040,400 <sup>**</sup>	28306,090 <sup>ns</sup>	292,118 <sup>ns</sup>	99936,884 <sup>ns</sup>	214212,102 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	75,747	15830,868	2886,833	77417,176	46858,761	48358,603	52989,771
Total	35							
CV		20,80	22,67	6,00	22,80	14,79	14,88	17,94
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )		Médias das áreas foliares das plantas (cm <sup>2</sup> )						
0		43,368	497,382	705,805	1081,210	1261,378	1273,970	1144,301
60		42,331	586,220	729,648	1421,749	1381,325	1155,398	1053,565
100		43,158	563,549	813,256	1227,659	1401,014	1475,165	1191,665
140		37,442	597,560	929,197	1127,913	1507,273	1548,606	1289,106
180		37,677	419,353	1151,909	11372,381	1591,171	1653,754	1574,754
220		47,046	666,345	1040,461	1089,947	1641,315	1759,590	1446,424
Fonte de água								
Água potável		40,700 a	534,963 a	829,260 b	1066,552 b	1221,490 b	1196,771 b	1056,437 b
Água residuária		42,973 a	575,174 a	960,832 a	1373,734 a	1706,335 a	1758,723 a	1510,168 a

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade;

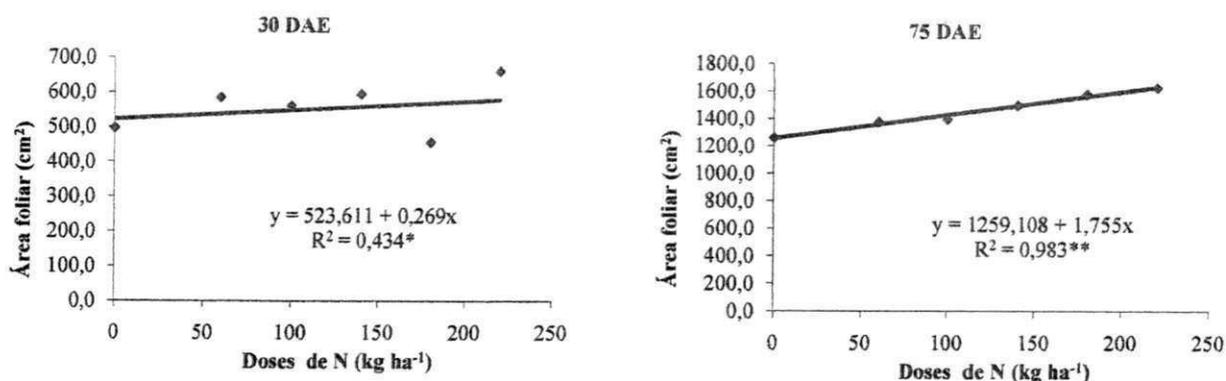
CV: coeficiente de variação

Verifica-se, na Tabela 3, que o efeito da água residuária começou a ser verificado aos 45 DAE em virtude, provavelmente, do período no qual as plantas necessitam de maior absorção de nutrientes. A partir desta avaliação observa-se que todas as plantas irrigadas com água residuária doméstica apresentaram área foliar significativamente superior às irrigadas com água potável. Resultados semelhantes foram observados por Bezerra et al. (2005) em que a água residuária tratada proporcionou aumento de todas as variáveis analisadas do algodoeiro (altura da planta, diâmetro do caule e área foliar) quando comparada com a água de abastecimento.

É importante ressaltar o crescimento acentuado na área foliar no intervalo de 15 aos 30 DAE, diminuindo de intensidade nos períodos seguintes e com menor incremento no intervalo dos 90 aos 105 DAE, devido ao efeito natural do algodoeiro que apresenta, ao final do ciclo, perda das suas folhas; o declínio da área foliar à medida em que as plantas se desenvolvem, também pode ser decorrente do autossombreamento, o que provocaria diminuição da área foliar a partir de determinada fase do ciclo fenológico da cultura (Benincasa, 2003). Para Silva (2010), isto é comum em algodoeiro herbáceo de vez que o grande número de maçãs em desenvolvimento nessa etapa impõe competição ao crescimento vegetativo, reduzindo-o.

Quanto às doses de nitrogênio aplicadas observou-se que tal como para a variável altura das plantas, as doses de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  proporcionaram maior valor para a área foliar. Taiz e Zeiger (2004) lembram que o aumento excessivo da área foliar pode prejudicar seu desenvolvimento e a produção, passando a atuar como o principal dreno da planta.

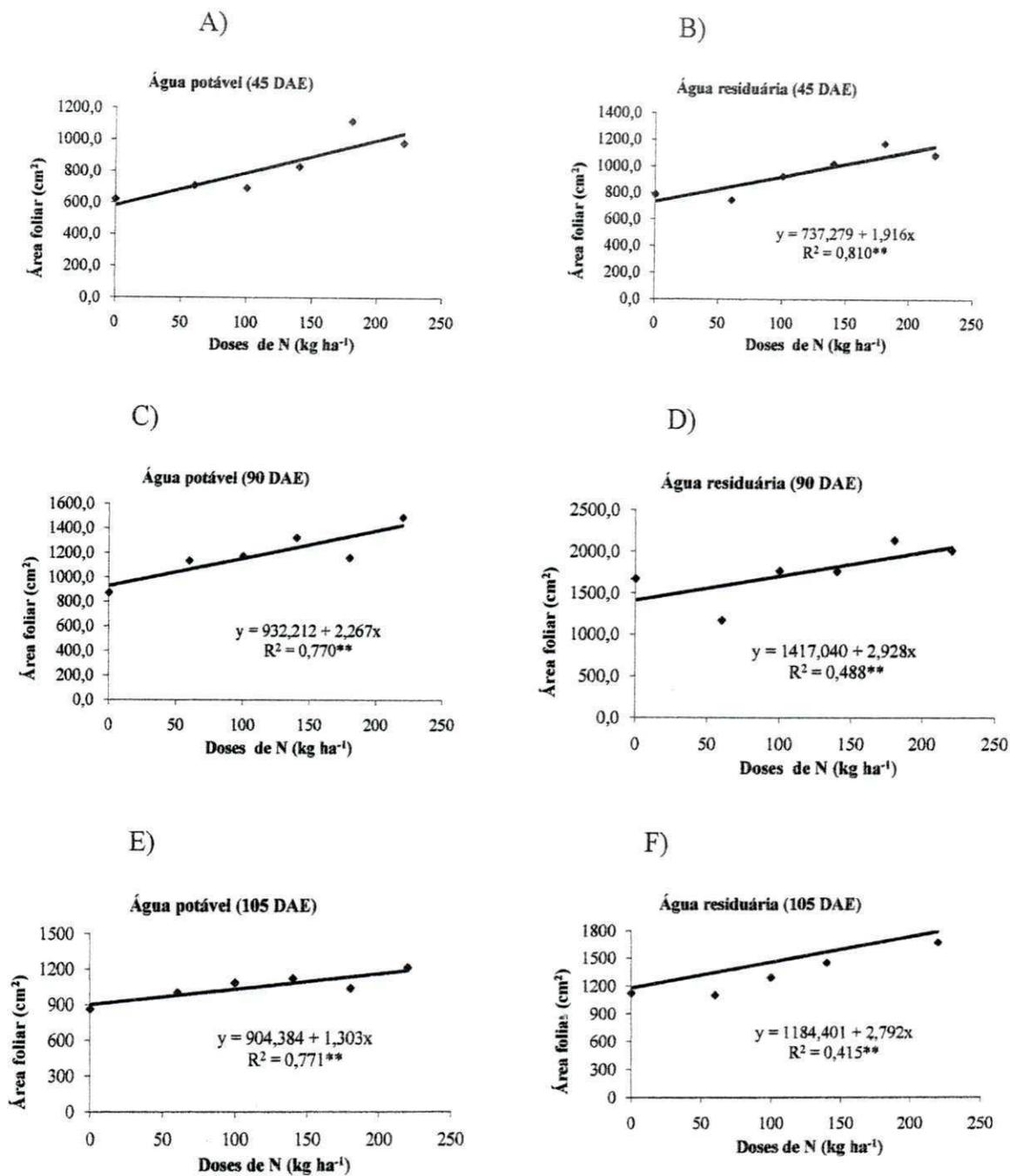
Verifica-se, Figura 7, que a área foliar das plantas de algodão cresceu linearmente com o incremento proporcionado pelas doses de nitrogênio de 0,269 e de  $1,755 \text{ cm}^2$  na área foliar, aos 30 e 75 DAE, respectivamente.



**Figura 7.** Modelos de regressão para a área foliar do algodoeiro ‘BRS 286’ em diferentes épocas, em função de doses de nitrogênio

Na Figura 8 são indicadas as tendências de crescimento da área foliar em função das doses de nitrogênio aplicadas em cada unidade experimental; o aumento na área foliar ocorreu de forma semelhante (45, 90 e 105 DAE) porém mais acentuada aos 90 DAE nas plantas irrigadas com água residuária doméstica. Fideles Filho et al. (2005) também observaram que o algodoeiro irrigado com esgotos apresentou incremento na área foliar quase três vezes superior aos resultados apresentados pela mesma cultura submetida a irrigação com águas de poço, fato também constatado por Ferreira et al. (2005) com algodoeiro irrigado com águas residuárias e com água de abastecimento.

Analisando-se a resposta das doses de nitrogênio sob efeito da qualidade da água ao longo do ciclo da cultura, verifica-se e que tanto para a água potável como para a água residuária, os valores médios da altura de planta, para os 45, 90 e 105 DAE, se ajustaram a um modelo de regressão linear, Figura 8. Nota-se que os maiores valores da área foliar observados aos 90 DAE nas plantas irrigadas com água residuária tratada, na leitura seguinte (105 DAE) ocorreu um decréscimo, associado a esse 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). Observou-se ainda um incremento de 3 cm<sup>2</sup> na área total das plantas a cada incremento de 40 kg de N ha<sup>-1</sup> disponível no composto orgânico.



**Figura 8.** Modelos de regressão para efeito do desdobramento das doses de N em cada tipo de água utilizado na irrigação, referentes à área foliar de plantas do algodoeiro ‘BRS 286’, aos 45 DAE (A e B), 90 DAS (C e D) e aos 105 DAS (E e F)

#### 4.2.1.3. Produção de Massa Seca

Encontra-se na Tabela 4, o resumo da análise de variância para os dados de massa seca da parte aérea (caule + ramos + folhas) e das raízes das plantas de algodoeiro, BRS 286, obtidas ao final do ciclo da cultura que se deu aos 140 dias.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis massa seca da parte aérea e massa seca da raiz das plantas de algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Massa seca da parte aérea	Massa seca da raiz
Tipo de água (A)	1	871,0368 <sup>ns</sup>	91,0116 <sup>*</sup>
Dose de Nitrogênio (N)	5	1984,0166 <sup>**</sup>	63,8121 <sup>**</sup>
A x N	5	349,2934 <sup>ns</sup>	6,8871 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	8145,3350 <sup>**</sup>	231,8063 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	1329,9632 <sup>*</sup>	69,7440 <sup>*</sup>
Regressão Cúbica	1	423,498	1,5552
Resíduo	24	259,1251	13,0015
Total	35		
CV (%)		17,11	14,10
<b>Doses de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Médias das massas secas (g vaso<sup>-1</sup>)</b>	
		<b>parte aérea</b>	<b>raiz</b>
0		59,2216	19,5316
60		91,8200	24,7216
100		97,2133	26,0416
140		102,1116	28,6683
180		103,625	26,7500
220		110,4416	27,7566
<b>Fonte de água</b>			
Água potável		89,1533 a	23,9883 b
Água residuária		98,9911 a	27,1683 a

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação

Analisando os dados da Tabela 4, percebe-se que a qualidade de água não influenciou a produção de massa seca da parte aérea influenciando, entretanto, a 5% de probabilidade, a massa seca das raízes. Já a variação das doses de nitrogênio exerceu o efeito significativo a 1% de probabilidade para as duas variáveis (massa seca da parte aérea e massa seca da raiz).

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 (Silva, 2010).

Percebe-se que a irrigação com água residuária doméstica proporcionou diferença significativa na quantidade de massa seca produzida pelas plantas de algodoeiro. Proporcionando um incremento de aproximadamente 10 g de matéria seca da parte aérea por planta. Seguindo a mesma tendência, da altura e área foliar das plantas, a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> foi a que contribuiu na produção de maior quantidade de massa seca da parte aérea das plantas.

Pedroza et al. (2003), verificaram aumento linear na produção de fitomassa da parte aérea, fitomassa total e da relação fitomassa da parte aérea/fitomassa raiz de plantas de algodoeiro variedade BRS 187 8H, com o uso de doses crescentes de lodo de esgoto (equivalentes a 0, 60, 100, 200, 250 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup>). Em pesquisa seguinte Pedroza et al. (2005), concluíram que dose de biossólido equivalente a 276, 280 e 295 kg de N ha<sup>-1</sup>; foi responsável pela quantidade máxima de fitomassa da parte aérea, fitomassa da raiz e fitomassa total, respectivamente.

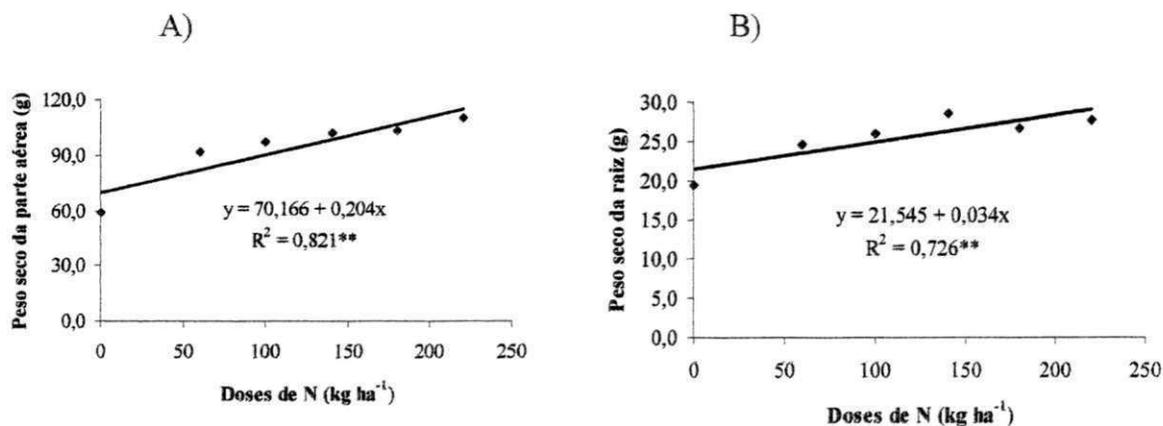
Independente da dose de nitrogênio observou-se que as plantas irrigadas com água residuária doméstica obtiveram um aumento na matéria seca, tanto para a parte aérea quanto para as raízes do algodoeiro, provavelmente devido a influencia proporcionada pelo nitrogênio um dos principais nutrientes responsáveis pelo desenvolvimento das plantas. Lima et al. (2005), observaram que o nitrogênio promove um maior crescimento, como um todo, para Lucas Filho et al. (2002) a maior disponibilidade de nutrientes no solo com aplicação de águas residuárias, pode levar a um desenvolvimento melhor das plantas, com maior produção de matéria seca.

A maior quantidade de massa seca das raízes observadas nas plantas irrigadas com água residuária (3,18 g) pode estar associada ao maior teor de fósforo observado nessas águas. Conforme Malavolta et al. (1997), o fósforo é um nutriente que tem função ligada ao desenvolvimento radicular. Esses resultados vêm confirmar resultados de pesquisas que mostram a maior eficiência na produção de fitomassa seca de plantas irrigadas com água residuária. Reforçado por Lucas Filho et al. 2002, que a maior disponibilidade de

nutrientes no solo, causada pela aplicação de águas residuárias, pode levar a um melhor desenvolvimento da planta, com maior produção de matéria seca.

A equação que melhor representou a produção de massa seca da parte aérea e das raízes foi, a linear, com correlação significativa a 1% de probabilidade para os dados experimentais.

De acordo com as Figuras 9A e 9B, pode se notar a relação proporcional das doses de nitrogênio com o peso seco da parte aérea e da raiz das plantas, com a mesma tendência de crescimento. O acúmulo máximo estimado da fitomassa seca da parte aérea e da raiz, apresentou um acréscimo de 0,204 e de 0,034 g vaso<sup>-1</sup> a cada incremento de 40 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produção de matéria seca também pode está associada à tolerância da espécie ao contaminante, conseguida através de diferentes adaptações bioquímicas que permitem à planta tolerar concentrações elevadas desses elementos, Taiz e Zeiger (2009).



**Figura 9.** Modelos de regressão para as variáveis peso seco da parte aérea (A) e peso seco da raiz (B) do algodão ‘BRS 286’ em função de doses de nitrogênio

#### 4.3. Componentes de produção

Na Tabela 5 se encontram o resumo da análise de variância obtido para os caracteres agrônômicos (número de capulhos por planta, peso médio de capulhos, peso de 100 sementes, produção de algodão em caroço, percentual de fibra e peso de pluma). Bem como os valores dos coeficientes de variação e os níveis de significância para o teste de Tukey.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis 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 de algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Nº capulhos planta <sup>-1</sup>	Peso 1 capulho (g)	Peso 100 sementes (g)	Peso algodão caroço (g)	Fibra (%)	Peso de Pluma (g)
Tipo de água (A)	1	6,2500 <sup>ns</sup>	1,9585 <sup>ns</sup>	0,8750 <sup>ns</sup>	1755,6100 <sup>ns</sup>	1,4400 <sup>ns</sup>	331,8469 <sup>ns</sup>
Dose de Nitrogênio (D)	5	238,116 <sup>**</sup>	3,1890 <sup>ns</sup>	0,9028 <sup>ns</sup>	4884,9326 <sup>**</sup>	2,8080 <sup>ns</sup>	1012,3622 <sup>**</sup>
A x D	5	56,1166 <sup>**</sup>	16,5826 <sup>**</sup>	0,2297 <sup>ns</sup>	393,7173 <sup>ns</sup>	1,7400 <sup>ns</sup>	91,6582 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	439,1386 <sup>**</sup>	4,3798 <sup>ns</sup>	2,2880 <sup>ns</sup>	14554,881 <sup>**</sup>	0,5212 <sup>ns</sup>	2919,712 <sup>**</sup>
Regressão Quadrática	1	369,0075 <sup>**</sup>	0,2295 <sup>ns</sup>	1,0323 <sup>ns</sup>	6286,395 <sup>**</sup>	10,7525 <sup>ns</sup>	1417,455 <sup>**</sup>
Regressão Cúbica	1	127,4479 <sup>ns</sup>	10,02402 <sup>*</sup>	0,9654 <sup>ns</sup>	1956,335 <sup>ns</sup>	0,4134 <sup>ns</sup>	358,597 <sup>ns</sup>
Resíduo		11,6388	1,8585	0,586513	614,3200	2,3533	134,5608
Total	35						
CV (%)		15,93	23,39	8,99	26,29	3,43	27,39
<b>Dose de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Médias</b>					
0 kg ha <sup>-1</sup>		10,3333	4,6665	7,2542	38,9166	43,6833	17,2000
60 kg ha <sup>-1</sup>		23,0000	6,3128	8,4282	98,9000	44,9500	44,3500
100 kg ha <sup>-1</sup>		23,0000	6,0663	8,3211	99,3000	45,1833	44,8500
140 kg ha <sup>-1</sup>		28,5000	5,0964	8,3043	117,9000	45,5500	53,7333
180 kg ha <sup>-1</sup>		18,6666	5,7029	8,6080	96,3833	44,3000	43,2000
220 kg ha <sup>-1</sup>		25,0000	6,5495	8,1867	114,2000	44,3333	50,7500
<b>Fonte de água</b>							
Água potável		21,0000 a	5,4991 a	8,361 a	87,2833 a	44,4666 a	39,3111 a
Água residuária		21,8333 a	5,9656 a	8,673 a	101,25 a	44,8666 a	45,3833 a

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação

Verificou-se que a qualidade da água de irrigação não apresentou efeito significativo em nenhuma das variáveis em estudo, enquanto as doses de nitrogênio apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade para os parâmetros número de capulho por planta, peso de algodão em caroço e peso de pluma. Ao levar em consideração a interação da qualidade de água e das doses de nitrogênio oriundo do composto orgânico notou-se significância nas variáveis número de capulhos por planta e peso de um capulho, a 1% de probabilidade, Tabela 5.

Verifica-se que a análise de regressão quadrática foi a que melhor se ajustou aos parâmetros de produção do algodoeiro, com correlação significativa a 1% de probabilidade.

Embora todas as variáveis tenham obtido valores superiores quando as plantas foram irrigadas com água residuária, esta não apresentou diferença significativa em relação à água potável, efeito devido, provavelmente, à maior disponibilidade dos nutrientes encontrados nesse tipo de água, em particular o NPK.

Verifica-se que a dose de 140 kg de N ha<sup>-1</sup> proporcionou a maior quantidade de capulho por planta, média de 28,50, ao final do ciclo, já em referência à qualidade de água de irrigação nota-se uma diferença de 0,8333 em relação a água potável. Concordante com resultados encontrados por Tsadilas e Vakalis (2003) ao observarem que o efluente tratado pode ser usado para a irrigação de milho e algodão, sem o uso de fertilizantes minerais e obter os mesmos resultados. Da mesma forma que Alves et al. (2005), analisando lâminas diferentes de água residuária sobre os componentes de produção do algodoeiro de fibra marrom, observaram efeito significativo no número de capulhos por planta em relação a irrigação com água potável.

Os resultados obtidos para peso médio de um capulho estão de acordo com os obtidos por Brito (2005) e Silva et al. (2001). Corroboram com essa observação Carvalho et al. (2001), que dizem não terem observado diferença significativa entre os tratamentos, variação em doses de nitrogênio, para a massa de um capulho, provavelmente, por ser uma característica genética da cultivar utilizada, discordando com os resultados verificados por Vieira et al. (2003) que, experimentando quatro doses de nitrogênio, 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>, verificaram influência nas propriedades tecnológicas da fibra do algodoeiro, no peso do capulho e na retenção frutífera.

A massa de cem sementes foi incrementada pelas doses de nitrogênio; apesar disto, a dose de 180 kg de N ha<sup>-1</sup> contribuiu na maior massa. A irrigação com água residuária

contribuiu para um incremento no peso de 100 sementes em aproximadamente 4%, resultado muito baixo quando comparado com os de outras pesquisas. Figueiredo et al. (2005) observaram, utilizando quatro níveis de biossólido (0, 72, 144 e 216 kg de N ha<sup>-1</sup>) e dois tipos de águas de irrigação (residuária e potável) que a irrigação com água residuária resultou em acréscimo de 30% no peso de 100 sementes.

Entre outros fatores, a produção de algodão em caroço, está relacionada ao número e capulho por planta, o que pode ser evidenciado na Tabela 5. Tem-se que a irrigação com água residuária proporcionou um aumento de aproximadamente 14 g da produção de algodão em caroço, resultado observado por Ferreira et al. (2005) que, ao compararem plantas de algodão irrigadas com água de abastecimento e com água residuária verificaram um incremento de mais de 70% na produtividade do algodão das plantas que receberam a água residuária. Para Santos et al. (2001) as maiores produções obtidas com as doses crescentes de composto orgânico podem ser atribuídas à melhoria das características químicas e físico-químicas e a matéria orgânica incorporada ao solo na forma de adubo orgânico, de acordo com o grau de decomposição dos resíduos, pode ter efeito imediato no solo, ou efeito residual, por meio de um processo mais lento de decomposição.

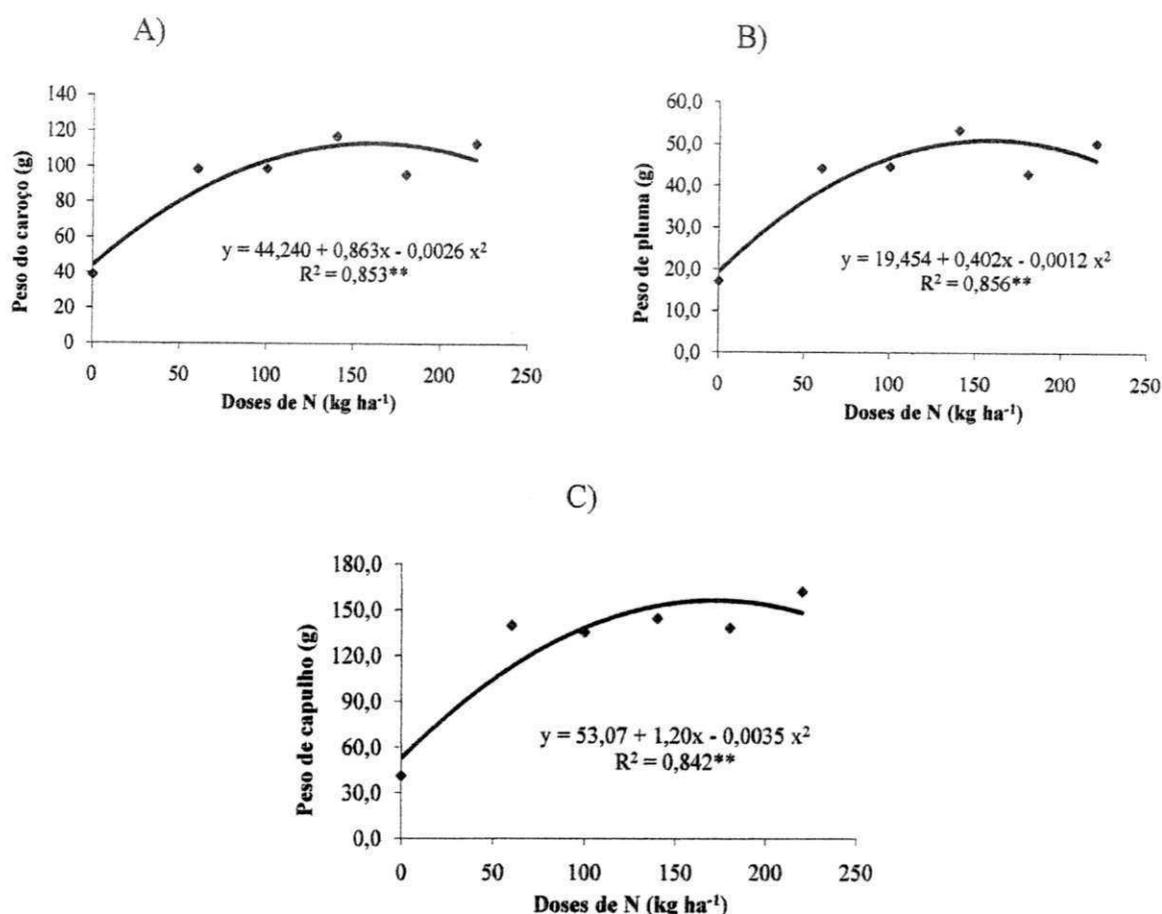
Alexandria Júnior et al. (2011) verificaram que a dosagem de composto orgânico que proporcionou os melhores resultados para a produção do algodoeiro BRS Rubi foi de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio associado a irrigação com água residuária. Também foi constatado por Rigon et al. (2010) que o uso de composto orgânico proveniente de lixo urbano apresentou incremento linear na produtividade de grãos da cultura do girassol, ao utilizarem doses de 25; 50; 75; e 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Constata-se na Tabela 6, que o percentual de fibra não foi afetado pelas doses de nitrogênio, resultado também obtido por Pedroso Neto e Abreu (2007). Porém, de acordo com as características da cultura, o peso médio de capulho e o rendimento médio de fibra, estão entre 5,5 e 6,0 g e 39,5 e 41 %, respectivamente, valores obtidos para as variáveis em condições de campo nas safras de 2005/2006 e 2007/2008 (EMBRAPA, 2009). Nas condições de estudo, na BRS 286 foi observado peso médio de capulho, máximo, de 6,55 g e rendimento médio, máximo, de 45,55%, plantas adubadas com 220 e 140 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Valores que divergem com os encontrados por Guerra et al. (2002) ao verificaram que a percentagem de fibra foi reduzida de 43,9% para 41,5% quando as doses de N aumentaram de zero para 240 kg. Porém de maneira geral é concordante com Furlani Júnior et al. (2003) que verificaram que a aplicação de maiores doses de nitrogênio reduz

na percentagem de fibra. Ao verificar o efeito da adubação mineral sob o crescimento e produção do algodoeiro, Dantas et al. (2005) afirmaram que a percentagem de fibras diminuiu com o aumento de doses de N no solo.

A maior quantidade de pluma foi observada na dose de  $220 \text{ kg ha}^{-1}$ , as doses de nitrogênio afetaram significativamente e, seguindo a tendência observada para as outras variáveis de produção a qualidade de água não surtiu efeito mas a pluma das plantas irrigadas com água residuária foi discretamente superior, Tabela 5. Figueirêdo et. al (2005) perceberam, trabalhando com duas cultivares, que o uso da água residuária como fonte de irrigação e nutrientes, incrementou 255,46% e de 370,6%, respectivamente, para as cultivares BRS 200 Marrom e BRS Verde e que esta última cultivar respondeu melhor quando se usou a água residuária na irrigação.

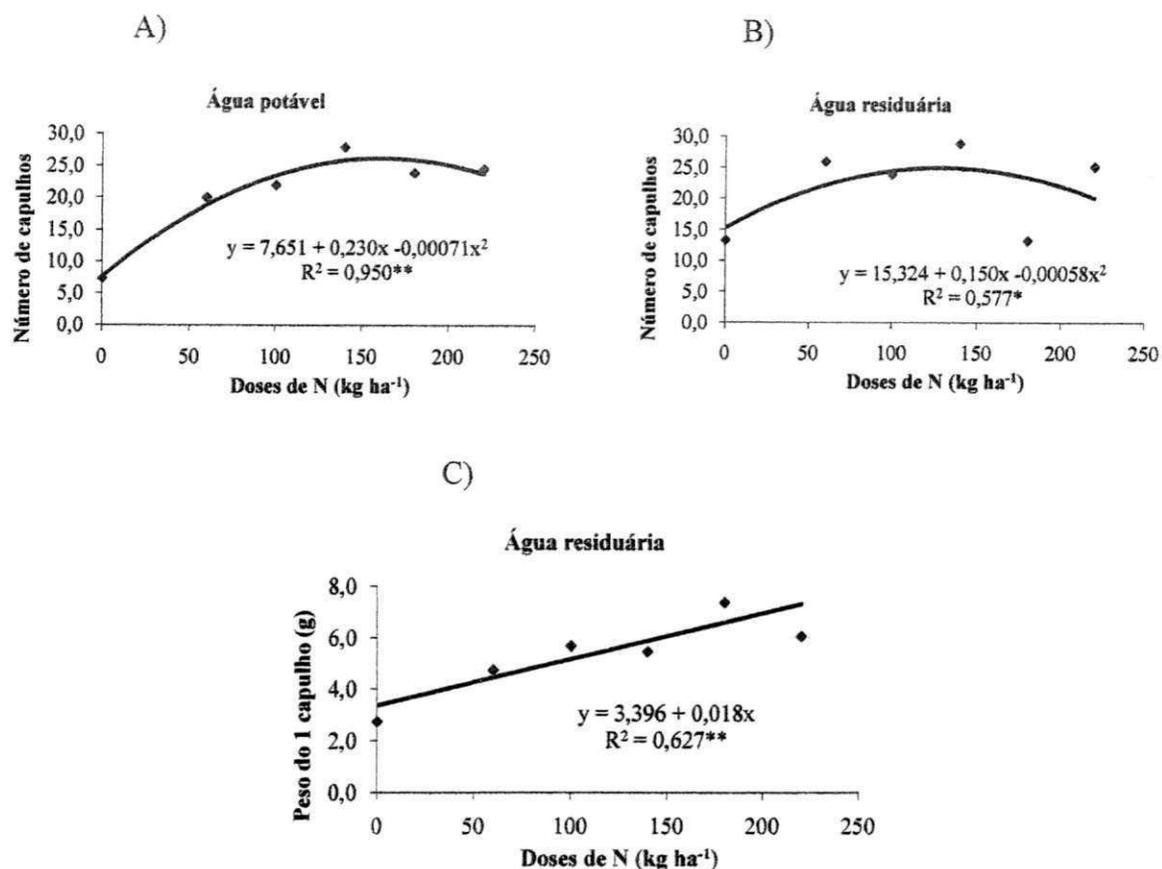
As variáveis peso de caroço, peso de pluma e peso do capulho de algodão apresentaram melhor ajuste ao modelo quadrático, com boa correlação dos dados indicados pelo  $R^2$ , acima de 80%; as derivadas dessas equações indicam que as doses de 166; 167 e 171 de  $\text{N ha}^{-1}$ , são aproximadamente, as mais indicadas para produção máxima de caroço de algodão, pluma e peso de um capulho, 116; 53 e 156 g, respectivamente, Figura 10.



**Figura 10.** Modelos de regressão para as variáveis peso de capulho (A), peso de pluma (B) e peso de caroço (C) do algodão ‘BRS 286’, em função de doses de nitrogênio

O comportamento do número de capulho observado para as plantas de algodoeiro, ajustou-se melhor ao modelo quadrático, com boa correlação dos dados indicados pelo valor de  $R^2$ , superior a 50% para a água potável e água residuária doméstica (Figuras 11A e 11B). As derivadas das equações permitiram estimar as doses de nitrogênio de 162 e 129 kg ha<sup>-1</sup> que proporcionaram maior produção de capulhos por planta (26,28 e 25,02) para a água potável e água residuária doméstica, respectivamente.

O peso de capulho por planta ajustou-se melhor ao modelo linear, a 1% de significância, com acréscimo de 0,018 a cada incremento de 40 k de N por ha<sup>-1</sup>.



**Figura 11.** Modelos de regressão para o desdobramento da interação das doses de nitrogênio dentro dos tipos de água da irrigação, referente ao número de capulhos (A e B) e peso do primeiro capulho (C) do algodoeiro ‘BRS 286’

#### 4.4. Componentes de qualidade da fibra

Na Tabela 6 se encontram as análises de variância e os valores médios dos fatores doses de nitrogênio (N) e tipo de água para as variáveis: Comprimento de Fibra (UHM), Uniformidade de Comprimento (UNF), Índice de fibras curtas (SFI), Resistência de Fibra (STR), Alongamento à Ruptura (ELG), Índice Micronaire (MIC), Maturidade da fibra do algodão (MAT), variedade BRS 286.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis: comprimento de fibra (UHM), uniformidade de comprimento (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência de fibra (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice micronaire (MIC), maturidade (MAT) do algodoeiro 'BRS 286' para a água potável e residuária

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
		UHM	UNF	SFI	STR	ELG	MIC	MAT
Tipo de água (A)	1	2,2002 <sup>ns</sup>	0,7802 <sup>ns</sup>	1,0677 <sup>ns</sup>	2,9469 <sup>ns</sup>	0,9025 <sup>ns</sup>	0,0100 <sup>ns</sup>	0,6944 <sup>ns</sup>
Doses de nitrogênio (N)	5	0,3898 <sup>ns</sup>	1,5376 <sup>ns</sup>	3,1406*	1,4482 <sup>ns</sup>	0,4911 <sup>ns</sup>	0,1897 <sup>ns</sup>	2,0944 <sup>ns</sup>
A x N	5	0,4849 <sup>ns</sup>	0,8469 <sup>ns</sup>	0,7524 <sup>ns</sup>	2,0616 <sup>ns</sup>	1,0871 <sup>ns</sup>	0,1726 <sup>ns</sup>	2,3611*
Regressão Linear	1	0,4128 <sup>ns</sup>	6,4698*	11,7530**	0,2265 <sup>ns</sup>	0,7880 <sup>ns</sup>	0,8891 <sup>ns</sup>	8,7560**
Regressão Quadrática	1	0,0122 <sup>ns</sup>	0,9483 <sup>ns</sup>	1,7850 <sup>ns</sup>	2,5516 <sup>ns</sup>	0,0053 <sup>ns</sup>	0,00058 <sup>ns</sup>	0,2621 <sup>ns</sup>
Regressão Cúbica	1	1,0902 <sup>ns</sup>	0,0494 <sup>ns</sup>	0,5873 <sup>ns</sup>	2,9600 <sup>ns</sup>	1,0678 <sup>ns</sup>	0,0258 <sup>ns</sup>	0,3785 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	1,0597	1,2722	0,8061	2,8125	0,5813	0,1325	0,8333
Total	35							
CV (%)		3,48	1,33	27,77	5,29	13,28	7,88	1,04
Médias								
Doses de Nitrogênio (g ha <sup>-1</sup> )	(mm)	(%)	(%)	(gf/tex)	(%)	(µg/in)	(%)	
0	29,5666	83,7833	4,5833	31,4500	5,4000	4,8500	88,1666	
60	29,1500	84,4833	3,1000	31,1333	5,7000	4,8166	88,0000	
100	29,6333	84,5833	3,4666	32,0000	6,0166	4,6333	87,3333	
140	29,5833	85,0500	2,7833	32,4333	5,6333	4,5166	87,5000	
180	29,9500	85,1166	2,8333	31,8000	5,5500	4,5000	87,3333	
220	29,5666	85,0000	2,6333	31,2666	6,1500	4,4166	86,5000	
Tipo de Água								
Água Potável	29,327 a	84,5222 a	3,0611 a	31,3944 a	5,5833 a	4,6055 a	87,3333 a	
Água Residuária	29,822 a	84,8166 a	3,4055 a	31,9666 a	5,9000 a	4,6388 a	87,6111 a	

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação

Percebe-se que não houve efeitos significativos das doses de nitrogênio proveniente do composto de lixo urbano nem do tipo de água (residuária doméstica tratada e potável) em nenhuma das características intrínsecas da fibra estudada, com exceção do índice de fibras curtas, verificado 1% de significância para as doses estudadas.

A interação entre as doses de nitrogênio e o tipo de água apresentou efeito significativo a 5% de probabilidade para a característica maturidade da fibra do algodoeiro.

De acordo com os dados da Tabela 6, a regressão linear foi a que melhor se ajustou aos dados obtidos para uniformidade de comprimento, com correlação significativa a 5% de probabilidade e ao índice de fibras curtas e maturidade, com correlação significativa de 1% de probabilidade.

Com relação ao comprimento médio da fibra, pode-se observar, Tabela 6, que em todos os tratamentos a fibra pode ser classificada como longa (29,15 a 29,95 mm). Para Staut e Kurihara (2001) doses de nitrogênio adequadas melhoram o comprimento da fibra.

Sabino et al. (1986), estudando as relações da adubação nitrogenada com a qualidade da fibra, verificaram que a adubação nitrogenada pode aumentar a uniformidade de comprimento das fibras, o que também foi corroborado neste trabalho, não apresentado diferença significativa entre as doses testadas, de 180 kg de N ha<sup>-1</sup>, fato que proporcionou maior uniformidade de comprimento para a variedade estudada.

Os valores do índice de fibras curtas estão classificados como muito baixo (< 6%) segundo classificação utilizada pela indústria têxtil, o que é positivo uma vez que, quanto menor for este índice melhor será a qualidade tecnológica da fibra do algodão. Resultado semelhante foi observado por Pedroza, et al. (2006) em que o índice de fibra curta foi de 5,2% utilizando-se doses crescentes de biossólido (0, 60, 100, 200, 250 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup>).

Os valores verificados para resistência de fibra (STR) foram todos, classificados como muito resistentes (> 31) segundo a classificação FBET (Fundação Blumenauense de Estudos Têxteis) de 2008.

Quanto ao alongamento (ELG) da fibra produzida nas condições de casa de vegetação foi classificada de baixa a média de 5,0 a 5,8 e de 5,9 a 6,7%, respectivamente. As plantas que receberam a dose de 220 kg de N ha<sup>-1</sup> obtiveram o maior alongamento de 6,15%, o uso da água residuária doméstica tratada também contribui para os melhores valores de alongamento, porém valores menores que os indicados pela FBET (2008), de >7,0%. O alongamento à ruptura foi 5,9%, maior que o determinado para as plantas

irrigadas com água potável, a mesma observação foi feita por Azevedo et al. (2005) em experimento com o algodão herbáceo BRS 187 8H em condições de campo no município de Campina Grande, PB.

A classificação utilizada pela indústria têxtil brasileira (FBET, 2008) indica que a fibra do algodoeiro nas condições de estudo possui índice micronaire médio de 4,0 a 4,9  $\mu\text{g in}^{-1}$ , no presente estudo o maior valor encontrado para o MIC foi observado para a fibra das plantas que não foram adubadas com composto orgânico (4,85  $\mu\text{g in}^{-1}$ ).

As características de alongamento à ruptura da fibra e índice micronaire, não apresentaram efeito significativo para a variação de doses de nitrogênio, resultados concordantes com Freitas (2003) e Castro (2004) que, ao trabalhar com diferentes doses de N e Cloreto de Mepiquat, constataram que as diferentes doses de nitrogênio não proporcionaram efeito significativo algum para tais características de fibra. O que também foi constatado por Pereira et al. (2003) desenvolvendo pesquisas em Barbalha, CE, analisando o efeito de doses crescentes de adubação nitrogenada sobre algumas características agrônômicas e tecnológicas da fibra da linhagem CNPA 97-2865, esses autores concluíram que as doses não alteraram as características tecnológicas da fibra, porém o algodão produzindo, independente da dose, apresentou fibra de elevada qualidade intrínseca.

Ainda na Tabela 6 tem-se, para a característica maturidade das fibras, que o valor mínimo e o máximo encontrados foram 86,50 e 88,17 %, respectivamente valores que, de acordo com as exigências da indústria têxtil classifica a fibra como sendo considerada de elevada maturidade. Estes valores foram semelhantes aos encontrados por Azevedo et al. (2005) ao analisar dois tipos de água (abastecimento e residuária doméstica tratada).

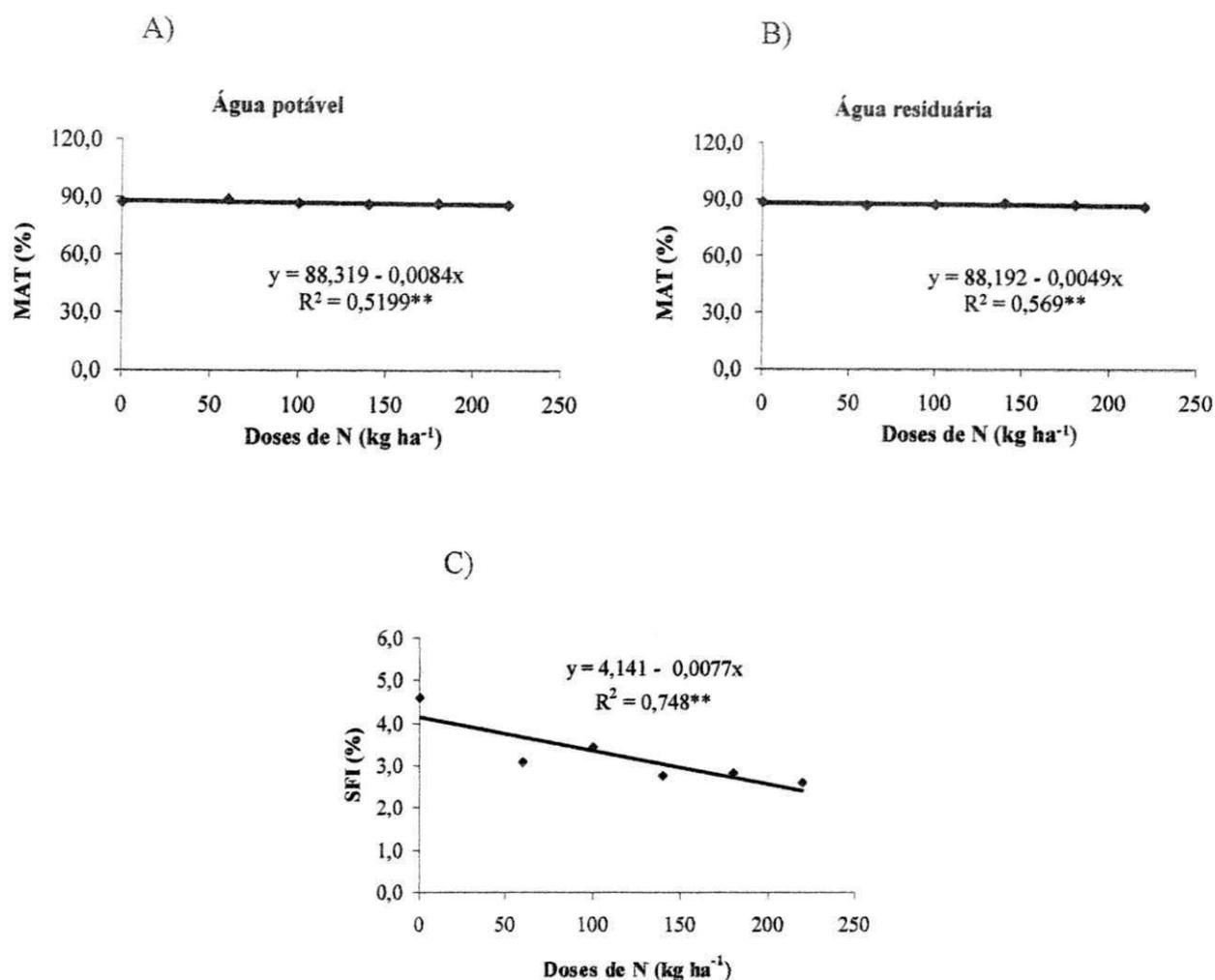
Analisando o fator tipo de água de irrigação, as plantas irrigadas com água residuária doméstica tratada apresentaram todas as características intrínsecas da fibra superiores quando comparadas as plantas irrigadas com água potável. Fato semelhante foi observado por Azevedo et al. (2005) analisando a influência de diferentes doses de nitrogênio e tipos de águas verificaram fibras de melhor qualidade, de modo geral, nas plantas irrigadas com água residuária.

As características tecnológicas da fibra, de acordo com estudos realizados por Pereira et al. (2003), não sofrem variações com o uso de doses crescente de nitrogênio. Mondino e Galizzi (2001), Lamas e Staut (2001) e Laca-Buendia et al. (2003), também não

encontraram diferença nas características tecnológicas da fibra ao aplicarem doses diferentes de nitrogênio.

Os valores de índice micronaire, verificados na referida figura, decrescem com o aumento das doses de nitrogênio. Com relação à resposta das doses de nitrogênio e os tipos de água na qualidade da fibra do algodoeiro verifica-se uma equação linear decrescente, Figura 12. A cada incremento de 40 kg de N ha<sup>-1</sup> nota-se um decréscimo de 0,0084 e 0,0049 para a característica maturidade, quando as plantas são irrigadas com água potável e residuária, respectivamente, fato que pode estar relacionado ao nitrogênio por ser um dos nutrientes mais importantes no crescimento do algodoeiro porém não interferindo diretamente na qualidade da fibra do algodão, a qual é dependente de outros fatores, incluindo genética e condições ambientais (Faulkner et al., 2011). Concordam com esta observação Mondino e Galizzi (2001), Lamas e Staut (2001) e Laca-Buendia et al. (2003), apesar de não terem encontrado diferença nas características tecnológicas da fibra, ao aplicarem doses diferentes de nitrogênio.

Embora a interação N x A foi significativa a 5% de probabilidade para a variável maturidade, as Figuras (12A, B e C) mostram que praticamente não houve variação dessa para as diferentes águas e doses de N.



**Figura 12.** Modelos de regressão para o desdobramento da interação das doses de N dentro de água potável (A) e água residuária (B) para a característica MAT (Maturidade) e SFI (Índice de fibras curtas) (C) em função das doses de N na colheita do algodão ‘BRS 286’

#### 4.5. Avaliação da concentração de zinco e cobre na planta (parte aérea + raiz)

O resumo da análise de variância obtido para as concentrações de zinco e cobre na parte aérea (caule + folhas) e nas raízes do algodoeiro, se encontra na Tabela 7.

A análise de variância indicou diferenças significativas a 5% de probabilidade, tanto entre as qualidades de água de irrigação como para as doses de nitrogênio analisadas, quando foi avaliado a quantidade de zinco acumulada na parte aérea (caule +folhas). Em relação ao elemento cobre, observa-se que a qualidade de água também exerceu efeito

significativo a 5% de probabilidade sobre a concentração deste elemento na parte aérea da cultura.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância da quantidade acumulada de Zn e Cu na planta de algodão 'BRS 286' (parte aérea + raiz) para a de água potável e residuária

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		Parte aérea		Raiz	
		Zinco	Cobre	Zinco	Cobre
Qualidade de água (A)	1	86,7000*	4,0333*	16,1333 <sup>ns</sup>	0,8333 <sup>ns</sup>
Dose de Nitrogênio (N)	4	35,5500*	1,0833 <sup>ns</sup>	0,8666 <sup>ns</sup>	0,5500 <sup>ns</sup>
A x N	4	9,6166 <sup>ns</sup>	0,7833 <sup>ns</sup>	7,3000 <sup>ns</sup>	0,4166 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	86,4000*	0,8000 <sup>ns</sup>	0,0166 <sup>ns</sup>	1,0666 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	48,7619 <sup>ns</sup>	0,0666 <sup>ns</sup>	0,9642 <sup>ns</sup>	0,1904 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,6000 <sup>ns</sup>	1,7142 <sup>ns</sup>	2,4000 <sup>ns</sup>	0,6000 <sup>ns</sup>
Resíduo	20	12,3000 <sup>ns</sup>	2,0166 <sup>ns</sup>	3,7333 <sup>ns</sup>	0,6333 <sup>ns</sup>
Total	29				
CV (%)		19,23	25,56	18,46	22,31
		Médias (mg kg <sup>-1</sup> )			
		Parte aérea		Raiz	
		Zinco	Cobre	Zinco	Cobre
Doses de Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )					
	0	nd	nd	nd	nd
	60	14,3333	3,000	10,8333	3,3333
	100	17,5000	3,8333	10,0000	3,1666
	140	20,5000	4,000	10,1666	3,8333
	180	19,5000	3,1666	10,8333	3,8333
	220	19,3333	3,500	10,5000	3,6666
Fonte de água					
	Água potável	16,5333	3,1333 b	9,7333 a	3,4000 a
	Água residuária	19,9333	3,8666 a	11,2000 a	3,7333 a

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; nd = não detectado.

A análise da Tabela 7 permite constatar que as concentrações de zinco e cobre determinadas nas raízes do algodoeiro não sofreram influência significativa em relação às fontes de variação. Este fato ocorreu, provavelmente, em razão da alta quantidade de matéria orgânica (115 g kg<sup>-1</sup>) e pH (8) do solo e da água residuária (8,4) visto que segundo Rodrigues-Rubio et al. (2003) e Yin et al. (2002), a disponibilidade do cobre é influenciada pelo pH do solo, tendendo a diminuir com sua elevação. De acordo com os autores esta diminuição na disponibilidade do cobre ocorre devido a precipitação deste na forma de hidróxido.

O modelo de regressão linear foi satisfatório para a análise da quantidade de zinco acumulada na parte aérea da planta. Apresentando boa correlação e significância a 5% de probabilidade para as doses testadas.

Mesmo a água residuária contendo concentrações de 0,01 e 0,06 mg L<sup>-1</sup> de zinco e cobre, respectivamente, não foi detectado traços desses metais nas plantas que não foram adubadas com composto, provavelmente devido a quantidade mínima encontrada nos tecidos vegetais da planta ser inferior ao que possibilita a leitura pelo aparelho de absorção atômica.

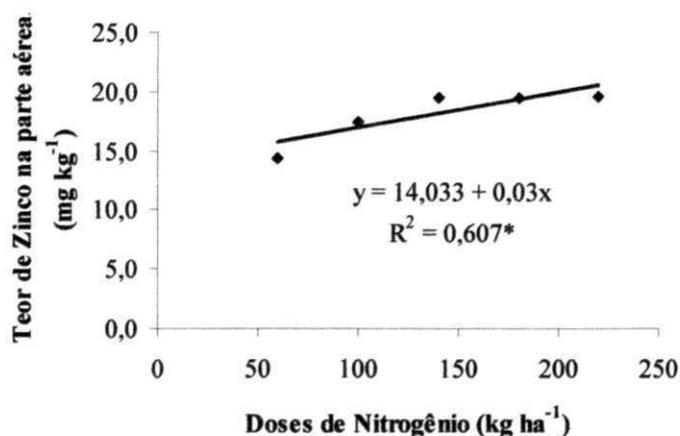
Verifica-se que o acúmulo de zinco foi maior na parte aérea do que nas raízes, provavelmente devido sua mobilidade, pois segundo Sterritt e Lester (1980), metais como o zinco e cádmio, ao contrário de outros, como o cobre e o chumbo, são mais móveis no solo, sendo facilmente absorvidos pelas raízes (Stevenson, 1986) e translocados para a parte aérea das plantas.

Com bases nesses resultados, percebe-se que a extração do zinco pelo algodoeiro ocorreu principalmente através do acúmulo na parte aérea. Ao contrário do zinco o cobre, de forma geral, teve o maior acúmulo do metal nas raízes, indicando a capacidade de absorção e, especialmente, a não translocação deste elemento das raízes para a parte aérea. Alguns autores consideram o Zn altamente móvel, outros atribuem a ele mobilidade intermediária, os processos de translocação desses na planta e o acúmulo em diferentes partes. De acordo com Antosiewicz (1992), plantas que apresentam maior teor do cobre nas raízes, comportam-se como plantas indicadoras. Fato também evidenciado por Giroto (2010) que observou que o maior acúmulo de cobre ocorreu predominantemente nas raízes das plantas de aveia, não ocorrendo translocação proporcional para a parte aérea das plantas.

O acúmulo de metais pesados no tecido vegetal é dependente da espécie e de fatores tais como: estágio de desenvolvimento da planta, tempo de exposição ao metal e diferentes espécies químicas dos elementos. O tempo necessário para a mineralização do composto orgânico, que é superior ao fertilizante químico, pode ter influenciado a disponibilidade dos metais no solo e sua absorção desses pelas plantas de algodão.

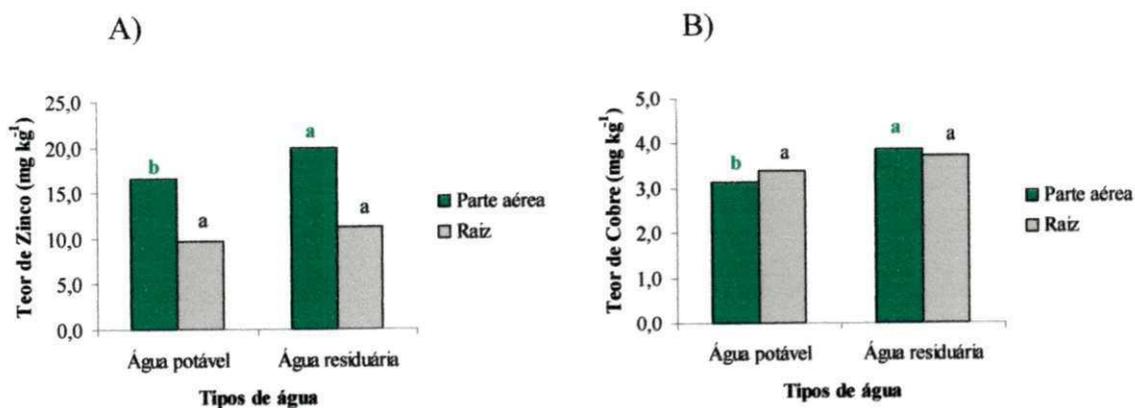
A quantidade de zinco acumulada na parte aérea das plantas de algodão ajustou-se ao modelo linear crescente; de acordo com a Figura 13, o acúmulo foi diretamente proporcional as doses desse metal disponível no solo. Percebe-se que a maior quantidade de zinco foi acumulada na parte aérea enquanto que o cobre foi nas raízes das plantas de

algodão. Pesquisadores na Califórnia (Melo, 2010) estão sendo realizadas no sentido de desenvolverem algodoeiro geneticamente modificado para aumentarem o potencial de absorção e translocação de metais pesados nessa planta.



**Figura 13.** Teor de Zinco na parte aérea do algodoeiro ‘BRS 286’ em função de doses de nitrogênio

Na Figura 14 verificam-se os teores de zinco e cobre encontrados nas plantas em função do tipo de água de irrigação. É perceptível que a irrigação com água residuária doméstica contribuiu com a maior absorção dos metais zinco e cobre nas plantas.



**Figura 14.** Teores de Zinco e Cobre na parte aérea e na raiz de algodoeiro ‘BRS 286’ em função de dois tipos de água de irrigação (A e B)

#### 4.6. Variáveis fitoextratoras

##### 4.6.1. Índice de translocação e coeficiente de fitoextração do cobre e do zinco

O resumo das análises de variância obtido para os índices de translocação e coeficientes de fitoextração para os metais zinco e cobre, se encontra na Tabela 8.

**Tabela 8.** Resumo das análises de variância referente ao desdobramento das variáveis índice de translocação e coeficiente de fitoextração para os metais zinco e cobre para a água potável e residuária

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		Índice de Translocação (%)		Coeficiente de fitoextração (%)	
		Zinco	Cobre	Zinco	Cobre
Qualidade de água (A)	1	1,5782 <sup>ns</sup>	226,5621 <sup>ns</sup>	0,0032*	0,0030**
Dose de Nitrogênio (D)	4	71,9769 <sup>ns</sup>	156,2068 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>
A x D	4	71,2135 <sup>ns</sup>	70,48718 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	157,2194 <sup>ns</sup>	137,5481 <sup>ns</sup>	0,0029*	0,000007 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	94,5756 <sup>ns</sup>	127,7984 <sup>ns</sup>	0,00165 <sup>ns</sup>	0,001538*
Regressão cúbica	1	34,4708 <sup>ns</sup>	336,1272 <sup>ns</sup>	0,000031 <sup>ns</sup>	0,001524*
Resíduo	20	44,8093	79,3052	0,00047	0,00032
Total	29				
CV (%)		10,58	17,63	19,51	24,21
Médias dos índices e dos coeficientes de fitoextração					
Doses de Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )		Zinco	Cobre	Zinco	Cobre
0		nd	Nd	nd	nd
60		57,2123	48,4666	0,0883	0,0604
100		63,9756	58,9325	0,1074	0,0871
140		65,7647	51,5601	0,1241	0,0849
180		64,1812	46,4368	0,1185	0,0677
220		65,2032	47,1440	0,1176	0,0719
Fonte de água					
Água potável		63,0380 a	47,7599 a	0,1008 b	0,0642 b
Água residuária		63,4967 a	53,2561 a	0,1215 a	0,0846 a

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; nd = não detectado.

O índice de translocação foi utilizado para analisar o potencial do algodoeiro em extrair zinco e cobre do solo adubado com composto de resíduo orgânico. Seu valor indica a quantidade do metal acumulado pelo algodoeiro na parte aérea, a qual é diretamente

proporcional ao translocado para esta. Este índice apresenta grande importância quando se trata da seleção de plantas para uso em fitorremediação.

O coeficiente de fitoextração é a relação entre a concentração de metais encontrados no interior da superfície biomassa da planta sobre a concentração de metais encontrados no solo, assim, quanto maior o coeficiente, maior a absorção de contaminantes. Percebe-se que os índices de translocação determinados para os metais zinco e cobre não foram influenciados pelos tratamentos, Tabela 8. Os coeficientes de fitoextração apresentaram efeitos significativos a 5 e 1% de probabilidade para os elementos zinco e cobre, respectivamente, quanto a fonte de variação foi a qualidade de água.

Na Tabela 8, verifica-se que o coeficiente de fitoextração do zinco apresentou ajuste linear, com boa relação dos dados indicados pelo valor do  $R^2$ . Já para o cobre a equação que melhor apresentou comportamento do coeficiente de fitoextração foi a quadrática, com correlação significativa a 5% de probabilidade para os dados.

O índice de translocação para o zinco variou de 0 a 65,76%, sem adição de composto de resíduo orgânico e com o fornecimento de 140 e 220 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente.

Observa-se que os menores índices translocação para o algodoeiro, BRS 286, foi com o fornecimento de 128,01 mg kg<sup>-1</sup> por vaso para o zinco e 111,96 mg kg<sup>-1</sup> por vaso para o cobre, disponíveis nas doses de 60 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente.

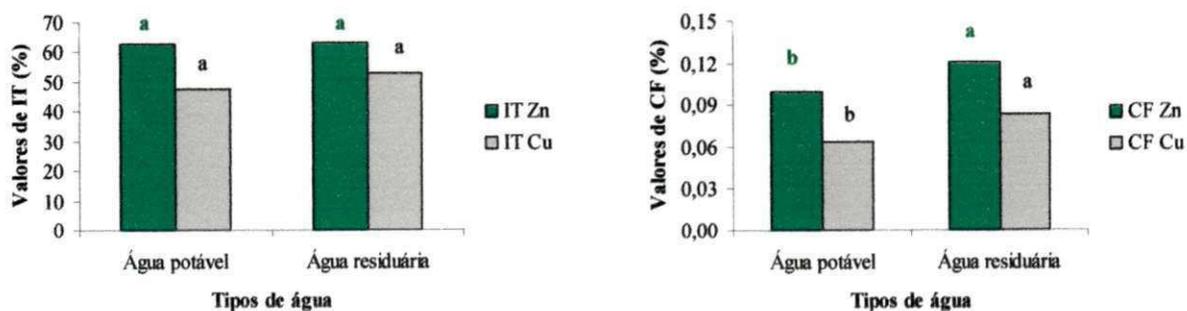
Quando se comparam os dois metais, nota-se que o algodoeiro foi mais eficiente na translocação do zinco e que seus valores não apresentaram coerência com o incremento deste no solo. Observação semelhante pode ser feita para o coeficiente de fitoextração. A dose de 298,83 mg kg<sup>-1</sup> foi a que proporcionou maior índice e coeficiente de fitorremediação para o zinco, 65,76% e 0,1241, respectivamente. Já para o cobre foi 62,20 mg kg<sup>-1</sup> 58,93% e 0,0871, respectivamente. Considerando a baixa mobilidade do cobre dentro da planta e no solo verifica-se que o índice de translocação na faixa de 46,4% pode ser considerado adequado quando comparado às espécies tolerantes ao cobre.

Chaves et al. (2010) testaram, trabalhando em casa de vegetação com plantas de mamona cinco doses de cobre (0; 25; 50; 75 e 100 mg kg<sup>-1</sup>) e quatro doses de zinco (0; 50; 100; 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup>), com três repetições, verificaram que a translocação do zinco foi maior que a do cobre, porém confirmaram que a mamona, nas condições de estudo, não se enquadra na definição de planta hiperacumuladora, porém pode ser acumuladora de zinco.

Em plantas de nabo forrageiro, Jorge (2009) encontrou o índice de translocação de 10,7 e 3,6% quando as plantas receberam doses dos amenizantes de turfa e torta de filtro, respectivamente. Lima et al. (2007) encontraram índices de translocação para o girassol, de 0, 49,6 e 36,8%, ao utilizarem doses de 0, 250 e 500 mg kg<sup>-1</sup> de chumbo, respectivamente.

Alguns pesquisadores compartilham a idéia de que, após sua utilização na fitorremediação, as plantas devem ser incineradas; outros dizem que depende da finalidade dada ao vegetal, porém todos concordam que é uma forma barata e eficaz na revitalização de áreas contaminadas por metais pesados, compostos orgânicos ou outro tipo de contaminante. Plantas utilizadas para remediação de solos contaminados podem ser utilizadas no uso dos biocombustíveis sem ônus à saúde do ser humano, como é o caso do algodoeiro, da cana-de-açúcar e da mamona, entre outras variedades.

A Figura 15 mostra a variação nos valores observados para o índice de translocação e coeficiente de fitoextração do zinco e do cobre, indicando que as plantas de algodoeiro não seguiram comportamento linear em relação às doses aplicadas.



**Figura 15.** Valores médios de Índices de Translocação (IT) e Coeficiente de Fitoextração (CF) em algodoeiro 'BRS 286', em função de dois tipos de água de irrigação

## 5. CONCLUSÕES

1. A qualidade do composto orgânico proveniente da compostagem de resíduo sólido produzido na usina de reciclagem do município de Esperança, PB, encontra-se dentro dos parâmetros exigidos pelas resoluções brasileiras.
2. A irrigação com água residuária doméstica tratada e a adubação com composto orgânico acarretou em efeito positivo no crescimento vegetativo do algodoeiro herbáceo.
3. A dose de nitrogênio equivalente a  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de composto orgânico foi a que proporcionou melhores resultados para o cultivo do algodoeiro.
4. O algodoeiro adubado com resíduo orgânico apresentou características intrínsecas de suas fibras dentro dos padrões exigidos pela indústria têxtil nacional.
5. A retenção do zinco nos tecidos vegetais (raízes, caule e folhas) do algodoeiro indicou que essa planta possui boa capacidade de bioacumular este elemento.
6. As análises nos tecidos da parte aérea e raízes indicaram que o zinco foi translocado em maior quantidade que o cobre.
7. A água residuária elevou a absorção, pela cultura do algodão, dos metais zinco e cobre oriundos do composto orgânico.
8. De maneira geral o uso de água residuária tratada contribuiu de forma positiva no crescimento, produção e qualidade de fibra do algodoeiro herbáceo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos: classificação, NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.
- Abichequer, A.D.; Bohnen, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.21-26, 1998.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)>. Acesso em: 10 ago 2011.
- Abreu Júnior, C. H.; Muraoka, T.; Lavorante, A. F.; Alvarez, V. F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p.645-657, 2000.
- Accioly, A. M. A.; Siqueira, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais, R. F. de; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2000. 299-351p.
- AGENDA 21. Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 20 de jul. de 2010.
- 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.
- Alexandria Júnior, F. F de; Antunes, A.; Leite, A. G.; Leite, P. G.; Leite, R. P.; Sobrinho, P. F. P. Produção do algodoeiro BRS Rubi submetido a doses crescente de composto orgânico e diferentes tipos de águas. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 8, e Cotton Expo,1, 2011, São Paulo. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2011. CD Rom.
- 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.
- Almeida, E. L. de.; Marcos, F. C. C.; Schiavinato, M. A.; Lagôa, A. M. M. A.; Abreu, M. F. de. Crescimento de feijão-de-porco na presença de chumbo. *Revista Bragantia*, v.67, p.569-576, 2008.
- Amine-Khodja, A.; Trubetskaya, O.; Trubetskoj, O.; Cavani, L.; Ciavatta, C.; Guyot, G.; Richard, C. Humic-like substances extracted from composts can promote the photodegradation of Irgarol 1051 in solar light. *Chemosphere*, v. 62, p.1021–1027, 2006.
- Andrade, L. O. Utilização de água residuária e adubo orgânico na cultura do crisântemo. Campina Grande: UFCG, 2008. 128p. Dissertação Mestrado

- Andrade, J. C. M.; Tavares, S. R. L.; Mahler, C. F. Fitorremediação: o uso das plantas na melhoria da qualidade ambiental. 1.ed. São Paulo, 2007. 176p.
- Arduini, I.; Godbold, D. L.; Onnis, A. Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. *Physiologia Plantarum*, v.97, p.111-117, 1996.
- Assis, R. L. de; Procópio, S. de O.; Carmo, M. L. do.; Pires, F. R.; Cargnelutti Filho, A.; Braz, G. B. P.; Silva, W. F.P. Fitorremediação de solo contaminado com herbicida picloram por plantas de *Panicum maximum* em função do teor de água no solo. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 30, p.845-853. 2010.
- 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*, v.28, p.863-870, 1993.
- Babu, B. R.; Parande, A. K.; Basha, C. A. Electrical and electronic waste: a global environmental problem. *Waste Management & Research*, v.25, p.307-318, 2007.
- Baker, A. J. M. Metal tolerance. *New Phytologist*, v.106, p.93-111, 1987.
- Beltrão, N. E. M.; Souza, J. G. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: *Algodão: Tecnologia de Produção*. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2001. Cap.1, p.54-75.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- Bettiol, W.; Camargo, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. In: Andreoli, C. V.; Pegorini, E. S. *Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap.18, p.281-312.
- Bezerra, L. D. B. Lima, V. L. A.; Andrade, A. R. S. de; Alves, V. W.; Azevedo, C. A. V. de; Guerra, H. O. Análise de crescimento do algodão colorido sob efeitos da aplicação de água residuária e biossólidos. *Revista Brasileira Agrícola e Ambiental*, v. Suplemento, p.333-338, 2005.
- Bidone, A. F. Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais. In: Bidone, A. F. *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização*. Rio de Janeiro: PROSAB, 2001. Cap.1. p.1-15.
- Bosco, T. C. D. Poluição difusa decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada UEOP. Cascavel: UNIOESTE, 2007. 128p. Dissertação Mestrado
- Breitung J, BrunsNagel D, Steinbach K, Kaminski L, Gemsa D, Von Low E. Bioremediation of 2,4,6-trinitrotoluene-contaminated soils by two different aerated compost systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 44, p.795–800, 1996.

- Brites, C. R. C. Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reúso de água em irrigação paisagística no Distrito Federal. Distrito Federal: UNB, 2008. 262p. Dissertação Mestrado
- Brito, D. R. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201, em função de nitrogênio, densidade de plantas e cloreto de mepiquat. Areia: UFPB, 2005. 116p. Tese Doutorado.
- Brooks, R.R. Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining. 2.ed. Oxford: CAB International, 2004. 380p.
- Cabral, B. Compostagem transforma lixo em adubo. Agência Meio/UFPE, 2001. Disponível em: <<http://www.csocialufpe.com.br/clipping/materias/009.htm>> Acesso em: 12 agost. 2010.
- Camacho, M. A.; Ribeiro, J. S. F.; Shinohara, L. D.; Ribeiro, F. J.; Fortes, D. G.; Araújo, É, de O. Doses de nitrogênio em cobertura na cultura do algodoeiro em Maracaju (MS). In Congresso Brasileiro do Algodão, 7, 2009, Foz do Iguaçu. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2009. CD Rom.
- Campos, T. G da S.; Oliveira, F. A. de. Efeito de níveis de N-Uréia sobre o rendimento do algodoeiro herbáceo cv. CNPA precoce 1 irrigado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.26, p.1381-1385, 1991.
- Capra, A.; Scicolone, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. Agricultural Water Management, v. 68, p.135-149, 2004.
- Carneiro, M. A. C.; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo contaminado com metais pesados: efeito de misturas de espécies e inoculação com fungos micorrízicos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, p.1443-1452, 2001.
- Carvalho, M. A. C. de; Paulino, H. B.; Furlani Júnior, E.; Buzetti, S.; Sá, M. E. de; Athayde, M. L. F. de. Uso da adubação foliar nitrogenada e potássica no algodoeiro. Revista Bragantia, v.60, p.239-244, 2001.
- Carvalho, A. L.; Matos, A. T.; Hamakawa, P. J.; Azevedo, R. F. Produção de percolado por resíduos sólidos urbanos de diferentes idades, na presença de resíduos da construção civil e sob recirculação. Engenharia na Agricultura, v.14, n.2, p.131-138, 2006.
- Carvalho, M. da C. S.; Ferreira, G. B.; Staut, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: Freire, E. C. Algodão no Cerrado do Brasil. Brasília: Associação dos Produtores de Algodão, 2007. Cap. 16, p.581-647.
- Carvalho, L. H.; Silva, N. M.; Kondo, J. I.; Chiavegato, E. J.; Almeida, W. P.; Carvalho, H. R. Comportamento de cultivares de algodoeiro em diferentes níveis de adubação nitrogenada em plantio adensado na presença de nematóides. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 7, 2009, Foz do Iguaçu. Anais... Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2009. CD Rom.

- Castro, M. F. Resposta de cultivares de algodoeiro herbáceo a doses de nitrogênio e de cloreto de mepiquat. Ilha Solteira: UNESP, 2004. 50p. Dissertação de Mestrado.
- Chaney, R. L.; Angle, J. S.; Broadhurst, C. L.; Peters, C. A.; Tappero, R. V.; Sparks, D. L. Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. *Journal of Environmental Quality*, v. 5, p. 1429-1443, 2007.
- Chantachon, S.; Kruatrachue, M.; Pokethitiyook, P.; Upatham, S.; Tantanasarit, S.; Soonthornsarathool, V. Phytoextraction and accumulation of lead from contaminated soil by vetiver grass: laboratory and simulated field study. *Water, Air, Soil Pollut.*, v. 154, p. 37-55, 2004.
- Coelho, M. A.; Soncin, N. B. Geografia do Brasil. São Paulo: Moderna. 1982. 368p.
- 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](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/04_levantamento_jan2010.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2011.
- Costa, J. N. da; Almeida, F. de A. C.; Santana, J. C. F. de; Costa, I. L. L. da; Wanderely, M. J. R.; Santana, J. C. da S. Técnicas de colheita, processamento e armazenamento do algodão. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 14p. (Circular técnica)
- 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](http://ipm.ncsu.edu/Production_Guides/Cotton/contents.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2011
- Cunningham, S. D.; Ow, D. W. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiol*, v. 110, p.715-719, 1996.
- Dantas, J. P.; Ferreira, M. M. M.; Ferreira, G. B. Efeito da adubação mineral com NPK + micronutrientes sobre o crescimento e a produção do algodoeiro no município de Salgado de São Félix - PB. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 5, 2005, Salvador. Anais... Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2005. CD Rom
- Datta, R.; Quispe, M. A.; Sarkar, D. Greenhouse study on the phytoremediation potential of vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides* L., in arsenic-contaminated soils. *Bull Environ Contam Toxicol*, v.86, p.124-128, 2011.
- Drzyzga, O.; Bruns-Nagel, D.; Gorontzy, T.; Biotevogel, K. H.; von Low, E. Anaerobic incorporation of the radiolabeled explosive TNT and metabolites into the organic soil matrix of contaminated soil after different treatment procedures. *Chemosphere*, v. 38, p.2081-2095, 1999.
- Edmisten, K. The Cotton Plant. In: 2009 Cotton Information. North Carolina: North Carolina State University, 2008. Disponível em: <[http://ipm.ncsu.edu/Production\\_Guides/Cotton/contents.pdf](http://ipm.ncsu.edu/Production_Guides/Cotton/contents.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2010.

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. BRS 286. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 2009. Folheto.
- Encinas, C. G. Possibilidades de Futuro. 1.ed. São Paulo. 2004. 166p.
- Faulkner, W. B.; Wanjura, J. D.; Hequet, E. F.; Boman, R. K.; Shaw, B. W.; Jr. Parnell, C. B. evaluation of modern cotton harvest systems on irrigated cotton: fiber quality. Applied Engineering in Agriculture. American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 27(4), p. 507-513, 2011.
- Fassler, E.; Plaza, S.; Pairraud, A.; Gupta, S. K.; Robinson, B.; Schulin, R. Expression of selected genes involved in cadmium detoxification in tobacco plants grown on a sulphur-amended metal-contaminated Field. Environmental and Experimental Botany, v. 70, p.158-165, 2011.
- Ferreira, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUN-DEPES, 2000. 437p.
- Ferreira, O. E.; Beltrão, N. E. M.; König, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, v. 9, p.893-902, 2005.
- Fideles Filho, J.; Nóbrega, J. Q.; Sousa, J. T. de; Dantas, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 328-332, 2005.
- Figueirêdo, I. C. de M.; Beltrão, N. E. de M.; Lima, V. L. A. de, Araújo, M. G. F. de, Nascimento, M. B. H. do. Efeito da irrigação com água residuária e da adubação na altura do algodão colorido. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 5, 2005, Foz do Iguaçu. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2005. CD Rom.
- Fiori, M. G. S.; Schoenhals, M.; Follador, F. A. C. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. Revista Engenharia Ambiental, v.5, p.178-191, 2008.
- Francou, C.; Poitrenaud, M.; Houot, S. Stabilization of organic matter during composting: influence of the process and of the composted wastes. Compost Science & Utilization, v.13, p.72-83, 2005.
- Freitas, H. A. Épocas de aplicação de nitrogênio e potássio em cobertura e formas de parcelamento do cloreto de mepiquat em duas cultivares de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. Raça latifolium). Ilha Solteira: UNESP, 2003. 35p. Dissertação de Mestrado.

- Furlani Júnior, E.; Silva, N. M. da; Carvalho, L. H.; Bortoletto, N.; Bolonhezi, D. Modos de aplicação de regulador vegetal no algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. c.v. IAC 22) em diferentes densidades populacionais e níveis de nitrogênio em cobertura. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 4, 2003, Goiânia. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2003. CD Rom.
- Grossi, M. G. L. Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas. São Paulo: USP, 1993. 222p. Tese Doutorado.
- Grimes, D. W.; Carter, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. *Agronomy Journal*, v.3, p.477-479, 1969.
- Hespanhol, I. Água Reciclada. *Revista Águas do Brasil*, v. 2, p.7, 2000.
- Hespanhol, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: Mancuso, C. S. A.; Santos, H. F. Reuso de água. Barueri: USP, 2007. Cap.3, p. 37-95.
- Hussain, I.; Raschid L.; Hanjra, M. A.; Marikar.; van der Hoek, W. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. International Water Management Institute. 2002. 62 p. Working Paper 37.
- Jorge, R. A. B. Torta de filtro e turfa na mitigação de solo contaminado por metais pesados e boro e o uso do nabo forrageiro como fitoextratora. Campinas: IAC, 2009. 85 p. Dissertação Mestrado.
- Jucá, J. F. T.; Melo, V. L. A.; Beltrão, K. G. B.; Paes, R. F. C. Sistema de tratamento de chorume proposto para o aterro da Muribeca, Pernambuco-Brasil. Recife: UFPE, 2002. Relatório Técnico.
- Khan, A. G.; Kuek, C.; Chaudhry, T. M.; Khoo, C. S; Hayes, W. J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, v. 41, p.197-207, 2000.
- Khan, M.; Shaukat, S. S.; Khan, M. A. Growth, yield and nutriente contente f sunflower (*Helianthus annuus* L.) using treated wastewater from waste stabilization ponds. *Pakistan Journal of Botany*, v.41, p.1391-1399, 2009.
- Krämer, U. Phytoremediation: Novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, v.16, p.133-141, 2005.
- Kumar, A; Tan, A. Reverse Logistics Operations in the Asia-Pacific Region Conducted by Singapore Based Companies: an Empirical Study. *Conradi Research Review* (2003), vol.2, issue 1, p. 27 - 49.
- Laca-Buendia, J. P.; Lanza, M. A.; Silva, J. da. Adubação nitrogenada em cobertura, com sulfato de amônio, em algodoeiro precoce. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 4, 2003, Goiânia. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2003. CD Rom.

- Lacerda, R. D. Resposta da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo. Campina Grande: UFCG, 2006. 70p. Dissertação de Mestrado.
- Lamas, F. M.; Staut, L. A. A adubação nitrogenada e regulador de crescimento no algodoeiro em sistema de plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 3, 2001, Campo Grande. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2001. CD Rom.
- Lasat, M. M. Phytoextraction of metals from contaminated sites – a critical review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, v. 2, p.1-25, 2000.
- Leite, V. D.; Sousa, J. T. de; Prasad, S.; Lopes, W. S.; Athayde Júnior, G. B.; Dantas, A. M. M. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.318-322, 2003.
- Leite, P. R. Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- Lima, M. M.; Azevedo, C. A. V.; Beltrão, N. E. de M.; Lima, V. L. A.; Nascimento, M. B. H.; Figueiredo, I. C. M. Níveis de adubação nitrogenada e bioestimulante na produção e qualidade do algodão BRS verde. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.619-623, 2005.
- Lima, R. L. S.; Severino, L. S.; Sofiatti, V.; Gheyi, H. R.; Arriel, N. H. C. Atributos químicos de substrato de composto de lixo orgânico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p.185-192, 2011.
- Lucas Filho, M. ; Andrade Neto, C. O. ; Silva, D. A. ; Melo, H. N. S. ; Pereira, M. G. . Evolução do processo de disposição de esgoto tratado através do escoamento subsuperficial em solo preparado com cobertura vegetal. In: Chernicharo, C. A. de L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: FINEP, 2001, Cap.1, p. 29-38.
- Lucas Filho, M.; Pereira, M. G.; Silva, D. A.; Andrade Neto, C. O.; Melo, H. N. de S.; Silva, G. B. Águas residuárias – alternativa de reuso na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.). In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 2002, Vitória. Anais.
- Ma, L.Q. ; Komar, K. M.; Tu, C. A fern that hyperaccumulates arsenic - hardy, versatile, fast-growing plant helps to remove arsenic from contaminated soils. *Nature*, v. 409, p.579, 2001.
- Malavolta, E.; Moraes, M. F.; Lavres Júnior, J.; Malavolta, M. Micronutrientes e metais pesados - essencialidade e toxidez. In: Paterniani, E. Ciência, agricultura e sociedade. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Cap.4, p.117-154.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

- Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. dos. Reúso de água. 2.ed. Barueri: USP, 2007. 576p.
- Marciano, C. R.; Moraes, S. O.; Oliveira, F. C.; Mattiazzi, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p.1-9, 2001.
- Marín, I.; Sanz, J. L.; Amils, R. *Biología y medioambiente*. 1 ed. Madri, 2005. 309p.
- Marinho, J. F.; Hiraki, S. S.; Furlani Junior, E.; Santos, M. L.; Neves, D. de C.; Ferrari, J. V. Qualidade da fibra do algodoeiro em função da adubação boratada. In: VII Congresso Brasileiro do Algodão, 2009, Foz do Iguaçu, PR. Anais... 2009. CD Rom.
- Melo, W. J.; Marques, M. O.; Melo, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: Tsutiya, M. T. *Biossólido na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. Cap. 5, p.289-363.
- Mondino, M. H.; Galizzi, F. A. Efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados sobre las propiedades tecnológicas de la fibra del algodón producida bajo riego. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 3., 2001, Campo Grande. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2001. CD Rom.
- Montovani, J. R.; Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P. Alterações nos atributos de fertilidade do solo adubado com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p.817-824, 2005.
- Mueller, C. F. *Logística Reversa Meio-ambiente e Produtividade*. 2005. Disponível em: <[http://www.valdenirmaia.arq.br/arquivos/xyz/logistica\\_texto\\_meioambiente.pdf](http://www.valdenirmaia.arq.br/arquivos/xyz/logistica_texto_meioambiente.pdf)>. Acesso em: 15 de dez. 2011.
- Nascimento, C. W. A. do; Xing, B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola*, v. 63, p. 299-311, 2006.
- Nascimento, C. W. A. do; Accioly, A. M. de A.; Biondi, C. M. Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: Avanços e perspectivas. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.6, p.461-497, 2009.
- Nedelkoska, T. V.; Doran, P. M. Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineering*, v. 3, p.549-561, 2000.
- Nóbrega, R. S. A.; Ferreira, P. A. A.; Santos, J. G. D. dos; Boas, R. C. V.; Nóbrega, J. C. A. Efeito do composto de lixo urbano e calagem no crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. *Scientia Forestalis*, v. 36, p.181-189. 2008.
- Pereira, J. R.; Beltrão, N. E. de M.; Bezerra, J. R. C.; Oliveira, J. N. de; Vale, D. G. Adubação nitrogenada do algodoeiro herbáceo irrigado no Cariri Cearense. In:

- Congresso Brasileiro de Algodão, 4, 2003, Goiânia. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2003. CD Rom.
- Pedroso Neto, J. C.; Abreu, M. L. de. Adubação nitrogenada em cobertura com sulfato de amônio em algodoeiro herbáceo. In: VI Congresso Brasileiro do Algodão, 2007. Uberlândia, MG. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2007. CD Rom.
- Pedroza, J. P.; van Haandel, A. C.; Beltrão, N. E. de M.; Dionísio, J. A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, p.483-488, 2003.
- Pedroza, J. P.; Beltrão, N. E. de M.; van Haandel, A. C.; Gouveia, J. P. G. de; Leite, J. C. A. Doses crescentes de biossólidos e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.5, p.1-13, 2005.
- Pilon-Smits, E. Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology, v. 56, p.15-39, 2005.
- Pletsch, M.; Charlwood, B. V.; Araújo, B. S. de; Fitorremediação de águas e solos poluídos: O uso das culturas de raízes geneticamente transformadas como modelos experimentais. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento, v. 2, p.26-29, 1999.
- Procópio, S. de O.; Carmo, M. L. do; Pires, F. R.; Cargnelutti Filho, A.; Braz, G. B. P.; Silva, W. F. P.; Barroso, A. L. de L.; Silva, Carmo, G. P.; E. L. do; Braz, A. J. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.32, p.2517-2524, 2008.
- Quinto, A. C. Potencial de uso e reúso de água no Brasil e experiências estrangeiras. Revista DAE, n. 180, p.10-11, 2009.
- Rainbow, P. S.; Philips, D. J. H. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. Marine Pollution Bulletin, v. 26, p. 593-601, 1993.
- Rascio, N.; Navari-Izzo, F. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? Plant Science, v. 180, p.169-181. 2011.
- Rigon, J. P. G.; Moraes, M. T. de, Arnuti, F.; Cherubin, M. R.; Trevisol, G.; Pessotto, P. P.; Capuani, S. Silva, V. R. de, Potencial agrícola da utilização de composto orgânico de lixo urbano na cultura do girassol. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 4, e Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1, 2010, João Pessoa, PB. Anais... Campina Grande: EMBRAPA, 2010. CD Rom.
- Rosolem, C. A. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.147-160. Boletim Técnico 4.
- Ruppenthal, V.; Castro, A. M. C. Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de gladiolo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.29, p.145-150, 2005.

- Sabino, N. P.; Silva, N. M. da; Rodrigues Filho, F. S. O. Efeitos da aplicação de N e K na qualidade da fibra do algodoeiro cultivado em latossolos roxos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, v.35, p.381-389, 1986.
- Saha, S.; Wu, J.; Jenkins, J. N.; McCarty, J. C.; Hayes, R.; Stelly, D. M. Delineation of interspecific epistasis on fiber quality traits in *Gossypium hirsutum* by ADAA analysis of intermated *G. barbadense* chromosome substitution lines. Springer-Verlag (outside the USA). v.122. p.1351-1361. 2011.
- Salem, S. S. Environmental considerations for wastewater reuse in agriculture. *Water Science & Technology*, v. 33, p.345-353, 1996.
- Salt, D. E.; Blaylock, M.; Kumar, N. P. B. A.; Viatcheslav, D.; Ensley, B. D.; Chet, I.; Raskin, I. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Nature Biotechnology*, v.13, p.468-474. 1995.
- Santos, J. B.; Procópio, S. O.; Silva, A. A.; Pires, F. R.; Ribeiro Júnior, J. I.; Santos, E. A.; Ferreira, L. R. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. *Planta daninha*, vol.22, p.323-330, 2004.
- Santos, R. H. S.; Silva, F. da; Casali, V. W. D.; Conde, A. R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p.1395-1398, 2001.
- Schnoor, J. L. 2002. Technology Evaluation Report: Phytoremediation of Soil and Groundwater. GWRTAC Series TE-02-01.
- Scramin, S.; Skorupa, L. A.; Melo, I. S. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas - levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: Melo, I. S.; Silva, C. M. M. S.; Scramin, S.; Spessoto, A. Biodegradação. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p.369-371.
- Silva, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: Cia, E.; Freire, E. C.; Santos, W. J. *Cultura do algodoeiro*. Piracicaba: POTAFÓS, 1999. 92p.
- Silva, M. E. C. Compostagem de Lixo em Pequenas Unidades de Tratamento. Viçosa: CPT, 2000. 82p.
- Silva, M. N. B. da; Pitombeira, J. B.; Beltrão, N. E. de M.; Silva, F. P. da. População de plantas e adubação nitrogenada em algodoeiro herbáceo irrigado: I - rendimento e características da fibra. *Revista Brasileira de Oleaginosa e Fibrosa*, v.5, p.355-361. 2001.
- Silva, F. C. da; Berton, R. S.; Chitolina, J. C.; Balesteiro, S. D. Uso agrícola do composto de lixo no Estado de São Paulo: recomendações técnicas. Campinas: EMBRAPA Informática Agropecuária, 2002. Circular Técnica
- Silva, L. V. B. D. Efeito residual da adubação orgânica com torta de mamona e impactos do reuso de águas no sistema solo-planta. Campina Grande: UFCG, 2010. 88 p. Dissertação Mestrado.

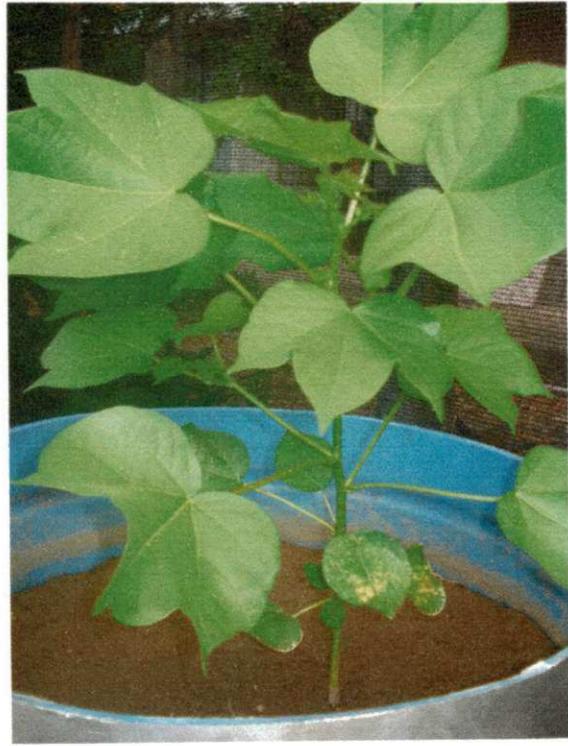
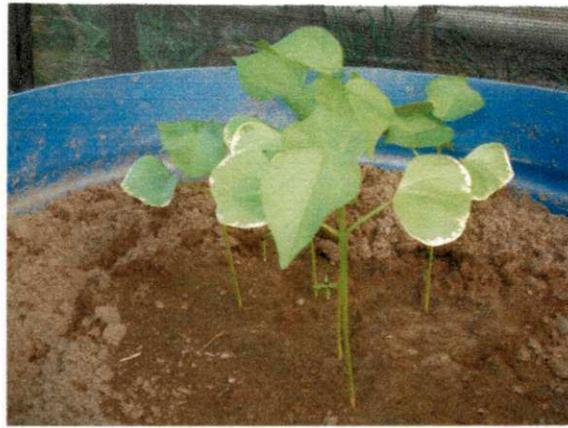
- Souza, F. S. de; Farinelli, R.; Rosolem, C. A. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.387-392, 2007.
- Staut, L. A.; Kurihara, C. H. Calagem e adubação. In: EMBRAPA Agropecuária Oeste. Algodão: tecnologia de produção. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste/CNPA, p.103-123, 2001.
- Sterritt M P & Lester J (1980). Effects of the agricultural use of sewage sludge contaminated with toxic elements: A review. Imperial College of Science and Technology. London.
- Stevenson F J (1986). Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients. John Wiley & Sons, U.K.
- Sufian, M. A.; Bala, B. K. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste Management*, v.27, p.858-868, 2007.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 613p.
- Trindade, A. V.; Muchovej, R. M. C.; Neves, J. C. L.; Barros, N. B. Crescimento e nutrição de mudas de *Eucalyptus grandis* em resposta a composto orgânico ou adubação mineral. *Revista Cereis*, v. 8, p.181-194, 2001.
- Tsutiya, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: Tsutiya, M. T.; Comparini, J. B.; Sobrinho, P. A.; Hespanhol, I.; Carvalho, P. C. T.; Melfi, A. J.; Melo, W. J.; Marques, M. O. Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, 2001. Cap.4, p.133-180.
- 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 Horoonabad, Pakistan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 29 p. (Research Report, 63)
- Vardanyan, L. G.; Ingole, B. S. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake system. *Environment International*, v. 32, p.208-218, 2006.
- Vergnoux, A.; Guiliano, M.; Dréan, Y. L.; Kister, J.; Dupuy, N.; Doumenq, P. Monitoring of the evolution of an industrial compost and prediction of some compost properties by NIR spectroscopy. *Science of the total Environment*, v. 407, p.2390-2403, 2009.
- Verkleij, J.A.C.; Parest, J.E. Cadmium tolerance and co-tolerance in *Silene vulgaris* (Moench.) Garcke [= *S. cucubalus* (L.) wilb.]. *New Phytologist*, v. 111, p.637-645, 1989.
- Vieira, F. M. de S.; Moreira, R. de M.; Medeiros, A. A. de; Amorim, J. A.; Fonseca, F. das C. E. da. Influência do nitrogênio sobre as características da fibra, retenção frutífera e

componentes da produção do algodoeiro. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.7, p.641-646, 2003.

Vicentini, L. S.; Carvalho, K. Richter, A. S. Utilização de microorganismos eficazes no prepare da compostagem. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.4, p.3367-3370, 2009.

Xin, T. H.; Traina, S. J.; Logan, T. J. Chemical properties of municipal solid waste compost. *Journal of Environmental Quality*, v. 21, p.318-329, 1992

# APÊNDICE



**Figura 1.** Evolução temporal das plantas de algodão adubadas com composto orgânico e irrigadas com água residuária doméstica tratada (5, 10 e 15 dias após a emergência)



**Figura 2.** Evolução temporal das plantas de algodão adubadas com composto orgânico e irrigadas com água residuária doméstica tratada (início da floração)



**Figura 3.** Evolução temporal das plantas de algodão adubadas com composto orgânico e irrigadas com água residuária doméstica tratada (floração, aparecimento dos primeiros capulhos e abertura dos capulhos)