



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



**POTENCIAL FITORREMEIADOR DO GIRASSOL ADUBADO COM RESÍDUO
SÓLIDO URBANO E IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

TAINARA TÂMARA SANTIAGO SILVA

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO – 2015**

TAINARA TÂMARA SANTIAGO SILVA

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DO GIRASSOL ADUBADO COM RESÍDUO
SÓLIDO URBANO E IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORA:

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

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO – 2015



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



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DA DOUTORANDA

TAINARA TÂMARA SANTIAGO SILVA

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DO GIRASSOL ADUBADO COM RESÍDUO
SÓLIDO URBANO E IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

BANCA EXAMINADORA:

PARECER

Prof.^a Dr.^a Vera Lucia Antunes de Lima – Orientadora

Prof.^a Dr.^a Riuzuani Michelle B. Pedrosa Lopes- Examinadora

Prof.^a Dr.^a Joelma Sales dos Santos – Examinadora

Prof.^a Dr.^a Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Examinadora

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por sua proteção divina.

Aos meus pais Maria Batista Santiago e José do Egito Silva, por desde cedo abrirem mão da minha presença, acreditando e confiando que eu seria capaz.

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

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

A minha tia e madrinha Maria Elza Silva, segunda mãe, por ter me acolhido em sua casa e me criado como sua filha, me apoiando em cada momento da minha vida.

Em memória do meu padrinho José Menezes Neto que sempre me deu apoio e que tenho certeza que se estivesse entre nós estariam muito felizes.

Ao meu irmão Bruno Gaudêncio de Almeida, pela paciência e compreensão que me davam forças para prosseguir.

Aos meus irmãos Tairone e Tarciano pela dedicação e incentivo. Aos meus avós, primos e tios por fazerem parte da minha vida.

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

A todos os amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo companheirismo, e aos funcionários dos Laboratórios de Engenharia de Irrigação e Drenagem e de Irrigação e Salinidade, pela agradável convivência.

Especialmente, a Riu Zuani Lopes, Joelma Sales, Silvana Medeiros, Leda Veronica, Michelle Cordeiro, Danilo Rodrigues, José Geraldo da nossa salinha pelo apoio, companheirismo e conhecimentos trocados.

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

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 10 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL | 10 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECIFICOS | 10 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEORICA | 11 |
| 3.1 | A CULTURA DO GIRASSOL | 11 |
| 3.2 | METAIS PESADOS | 12 |
| 3.2.1 | DISPONIBILIDADE DO ZINCO..... | 13 |
| 3.2.2 | DISPONIBILIDADE DO COBRE..... | 14 |
| 3.2.3 | DISPONIBILIDADE DO NÍQUEL | 14 |
| 3.3 | RETENÇÃO DOS METAIS PESADOS NO SOLO | 15 |
| 3.4 | ABSORÇÃO DOS METAIS PELAS PLANTAS | 16 |
| 3.5 | FITORREMEDIAÇÃO..... | 17 |
| 3.5.1 | VANTAGENS DA FITORREMEDIAÇÃO | 19 |
| 3.5.2 | LIMITAÇÕES DA FITORREMEDIAÇÃO | 20 |
| 3.6 | COMPOSTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS..... | 21 |
| 3.6.1 | UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO NA AGRICULTURA | 22 |
| 3.7 | REUSO NA AGRICULTURA | 23 |
| 3.7.1 | POTENCIAL E LIMITAÇÕES DA ÁGUA RESIDUÁRIA | 25 |
| 3.7.2 | LEGISLAÇÃO DO REUSO | 26 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 28 |
| 4.1 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL..... | 28 |
| 4.2 | SOLO UTILIZADO | 28 |
| 4.3 | DELINEAMENTO EXPERIMENTAL | 29 |
| 4.4 | MONTAGEM DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS..... | 30 |
| 4.5 | CROQUI DO EXPERIMENTO | 30 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 4.6 | CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO..... | 32 |
| 4.7 | SEMEADURA E TRATOS CULTURAIS | 33 |
| 4.8 | DETERMINAÇÃO DAS LÂMINAS E CONTROLE DE IRRIGAÇÃO..... | 34 |
| 4.9 | PARÂMETROS AVALIADOS | 36 |
| 4.9.1 | VARIAVEIS AGRONÔMICAS | 36 |
| 4.10 | CÁLCULOS DA FITORREMEDIAÇÃO..... | 37 |
| 4.11 | ANÁLISES ESTÁTISTICAS | 38 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 38 |
| 5.1 | Variáveis de crescimento do girassol..... | 38 |
| 5.1.1 | Altura das plantas | 38 |
| 5.2 | Componentes da produção | 52 |
| 5.2.1 | Produção de massa seca..... | 52 |
| 5.2.1 | Diâmetros interno e externo de capítulos | 54 |
| 5.2.1 | Número de Pétalas..... | 56 |
| 5.1 | Fitorremediação | 58 |
| 5.1.1 | Concentração de zinco (Zn), cobre (Cu) e níquel (Ni) nas plantas (parte aérea + raíz) 58 | |
| 5.1.2 | Variáveis fitoextratoras | 61 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 65 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 66 |

POTENCIAL FITORREMEIADOR DO GIRASSOL ADUBADO COM RESÍDUO SÓLIDO URBANO E IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

RESUMO: Atualmente com o crescimento populacional, a escassez de água e a produção de resíduos sólidos urbanos vem aumentando desordenadamente, gerando como consequências a degradação ambiental. Novas formas de reaproveitamento desses resíduos vem sendo estudados como por exemplo a utilização deles na agricultura, surgindo como uma alternativa de nutrientes que tendem a maximizar o potencial das culturas. Assim sendo, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da irrigação com água residuária doméstica tratada e da adubação com composto de resíduo sólido urbano no crescimento e desenvolvimento do girassol bem como o potencial de absorção de metais pesados pela cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Campina Grande - PB. A cultura utilizada foi o Girassol (*Helianthus annuus L.*), variável EMBRAPA 122/V2000. Sendo cultivadas em vasos, preenchidos com solo classificado como NeossoloRegolíticoeutrófico. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 6 x 2, com 3 repetições, onde as 6 doses de nitrogênio disponível em composto de resíduo sólido foram (0, 60, 100, 140, 180, 220 kg. N. ha⁻¹) e 2 tipos de água (água potável e água residuária doméstica tratada). A água residuária foi tratada por meio de reator UASB (Reator anaeróbico de fluxo ascendente) e a água de abastecimento foi proveniente do sistema de abastecimento público municipal. Verificou-se que as doses de nitrogênio influenciaram significativamente as variáveis altura de planta, diâmetro interno externo de capítulo e número de pétalas. Já no que se refere aos tipos de água utilizados na irrigação observou-se efeito não significativo para número de folhas e diâmetro caulinar. O girassol foi mais eficiente na absorção de Zinco, do que nos outros metais avaliados, independente da dose de nitrogênio aplicada. De maneira geral, a irrigação com água residuária doméstica tratada e a adubação com composto orgânico acarretaram em efeito positivo no crescimento e na produção do girassol 122/V 2000.

Palavras-chave: Água residuária, adubação orgânica, *Helianthus annuus L.*

POTENTIAL PHYTOREMEDIATION OF SUNFLOWER FERTILIZED WITH SOLID WASTE URBAN AND IRRIGATION WITH WASTEWATER

ABSTRACT: Currently population growth, the generation of municipal solid waste and water scarcity is increasing wildly, generating as consequences of environmental degradation. New ways of reusing such waste have been studied as to their use in agriculture emerging as an alternative nutrient that tends to maximize the potential crop. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of irrigation with treated domestic wastewater and composted manure of municipal solid waste in the growth and development of sunflower and the potential for absorption of heavy metals by culture. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Campina Grande - PB. The culture used was the Sunflower (*Helianthus annuus* L.), variable EMBRAPA 122 / V2000. Being grown in pots filled with soil classified as eutrophic Entisol. The experimental design was a completely randomized design in a factorial 6 x 2, with three replications, where six levels of nitrogen available in compounds of solid residue were (0, 60, 100, 140, 180, 220 kg. N. ha⁻¹) and 2 types of water (drinking water and treated domestic wastewater). The wastewater was treated by UASB (upflow anaerobic reactor) and the water supply was from the municipal supply system. It was found that the nitrogen rate significantly influenced plant height variables, external and internal diameter, number of petals. In what regards the type of water used for irrigation, no significant effect on the number of leaves and stem diameter was observed. Sunflower was more efficient in the absorption of zinc, the other metals evaluated independent of the applied dose of nitrogen. In general, irrigation with treated domestic wastewater and fertilization with organic compost resulted in positive effects on growth and sunflower production 122 / V 2000.

Keywords: residual water, organic fertilizer, *Helianthus annuus* L.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise das características físico-químicas do NeossoloRegolítico utilizado no preenchimento das unidades experimentais.....

Tabela 2. Caracterização do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano.....

Tabela 3. Resultado da análise biológica do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano.....

Tabela 4. Caracterização química das águas utilizadas nas irrigações, água potável e residuária doméstica tratada.....

Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à variável altura das plantas do girassol, submetida á irrigação com água residuária doméstica tratada e adubação nitrogenada.....

Tabela 6. Resumo da análise de variância referente à variável diâmetro do caule do girassol EMBRAPA 122/V-2000 para a água potável residuária doméstica tratada.....

Tabela 7. Resumos da análise de variância referente ao desdobramento da variável número de folhas das plantas de girassol irrigadas com residuária doméstica tratada.....

Tabela 8. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável massa seca das plantas de girassol para a água potável e residuária doméstica tratada.....

Tabela 9. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis diâmetro interno e externo das flores de plantas de girassol para a água potável e residuária doméstica tratada.....

Tabela 10. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável número de pétalas das plantas de girassol para a água potável e residuária doméstica tratada.....

Tabela 11. Resumo da análise de variância da quantidade acumulada de Zn, Cu e Ni no girassol (parte aérea + raiz) em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada.....

Tabela 12. Resumo das análises de variância para o índice de translocação e coeficiente de fitoextração para os metais zinco, cobre e níquel, em função do tipo de água de irrigação.....

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos utilizados pelas plantas no processo de fitorremediação.....

Figura 2-Mapa do local de instalação e condução do experimento.....

Figura 3. Montagem das unidades experimentais.....

Figura 4. Croqui do experimento.....

Figura 5. Vista geral do experimento.....

Figura 6. Plantas de girassol com 6(A) e 6(B) dias após a semeadura.....

Figura 7. Altura de plantas Girassol EMBRAPA 122/V-2000 em diferentes épocas, irrigadas com água residuária doméstica tratada.....

Figura 8. Modelos de regressão para o diâmetro de plantas do girassol aos 15 e 45 DAE, irrigadas com dois tipos de água e doses crescentes de nitrogênio.

.....

Figura 9. Média do número de folhas do Girassol variedade Embrapa 122/V-2000 em função de doses crescentes de nitrogênio.

.....

Figura 10. Peso seco das plantas de girassol, em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária doméstica tratada.....

Figura 11. Diâmetro interno das flores de girassol, em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária doméstica tratada.....

Figura 12. Número de pétalas das flores de girassol, em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária doméstica tratada.....

Figura 13. Quantidade acumulada de Zinco, Cobre e Níquel na parte aérea das plantas de girassol, em função das doses de nitrogênio.....

Figura 14. Quantidade acumulada de Zinco, Cobre e Níquel nas raízes das plantas de girassol, em função das doses de nitrogênio.....

Figura 15. Índice de Translocação (IT) para a cultura do girassol, em função das doses de nitrogênio.....

Figura 16. Coeficiente de Fitoextração(CF) para a cultura do girassol, em função das doses de nitrogênio.....

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preservação ambiental tem se tornado um fator de grande importância social e econômica. Esforços contínuos têm sido realizados a fim de desenvolver alternativas de reciclagem de resíduos sólidos e líquidos que possibilitem a prevenção e o controle da poluição. Dentre as medidas mais promissoras pode-se destacar a adubação orgânica e o reúso de águas, que tem se mostrado, através de resultados de pesquisas, um caminho para a destinação adequada e reaproveitamento dos nutrientes neles encontrados, principalmente quando utiliza-se na agricultura.

Neste sentido, o uso de água residual pode ser um das formas de contenção do uso indiscriminado da água para usos menos nobres e como forma de diminuição do lançamento de efluentes não tratados nos mananciais, o reúso mostra-se como uma alternativa sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável, apresentando-se como mais uma solução para suprir a demanda de água para o Nordeste (PINHO *et al.*, 2008).

Além dessa demanda envolvendo a produção dos resíduos líquidos, Lima *et al.* (2012) destaca que a sociedade se encontra frente a outro desafio na mesma dimensão - a destinação dos resíduos sólidos os quais, historicamente, causaram sérios problemas de deterioração socioambiental, pois, ao contrário da natureza que recicla todo o resíduo que produz e o reintegra na dosagem certa aos ecossistemas ambientais, o ser humano encontra uma grande dificuldade, segundo Calderoni (2003), em devolver alguns materiais depois de usados para o seu ambiente de origem.

De forma geral, a agricultura tem sido considerada como uma das atividades causadoras de impactos ambientais. No entanto, esta atividade possui peculiaridades que possibilitam a reciclagem de produtos considerados sem importância, dentre os quais pode ser citada a reciclagem de lixo urbano, dando origem ao composto orgânico possível de 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 e se torna uma importante alternativa por ser de fácil aquisição e de baixo custo (LOPES, 2013).

Aliada à adubação orgânica a irrigação com água residual pode substituir e suprir a adubação química, uma vez que a água residual possui cerca de 99,9% de água e 0,01% de matéria orgânica, apresentando altos teores de nitrogênio, potássio e cálcio (SANTOS, 2012). Brites (2008) aponta outra vantagem da utilização de águas residuais em irrigação, 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 fitorremediação, tecnologia alternativa aos métodos de remediação tradicional, é uma estratégia que consiste no emprego de plantas e da sua microbiota, associada ou não ao uso de amenizantes do solo, além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (CRUVINEL, 2009; ANDRADE, et al., 2007). Dentre as técnicas de fitorremediação, destacam-se a fitovolatilização, fitodegradação, fitoestimulação, fitoextração, fitoestabilização, rizofiltração e capas vegetativas (MAZZUCO, 2008; NASCIMENTO et. al, 2009).

Dentre as oleaginosas que tem potencial fitorremediador e podem ser cultivadas para a produção de biodiesel o Girassol (*Helianthus annuus L.*) se destaca (PORTO et al., 2007). Santos Júnior et al., (2011) o girassol trata-se de uma cultura, de alto valor comercial, encontrando-se em evidência no mercado, em virtude de seu potencial agronômico de aproveitamento de todas as partes da planta. No Brasil é notório o crescimento do cultivo de girassol. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012) mostram que no ano de 2001 havia 52,6 mil hectares de área cultivada com girassol no Brasil, já em 2010 a área colhida foi de 78,4 mil hectares, com uma produtividade de 1,254 t ha⁻¹ conferindo ao Brasil, a vigésima sétima colocação mundial entre os países produtores (FAO, 2011). É uma cultura que se adapta a diversas condições edafoclimáticas podendo ser cultivado no Brasil, desde o Rio Grande do Sul até o hemisfério norte, no estado de Roraima (GOMES et al., 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da irrigação com água residuária doméstica tratada e da adubação com composto de resíduo sólido urbano no crescimento e desenvolvimento do girassol bem como o potencial de absorção de metais pesados pela cultura.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

a) Avaliar as características dos componentes de crescimento e produção das plantas de girassol, cultivado em solo adubado com composto de resíduo sólido.

b) Avaliar o comportamento do girassol quando irrigado com água potável e residuária doméstica tratada.

c) Analisar o conteúdo de metais pesados zinco, cobre e níquel translocados pelas plantas de girassol.

d) Calcular o Índice de Translocação e o Coeficiente de Fitoextração para os metais zinco, cobre e níquel, na cultura.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

3.1 A CULTURA DO GIRASSOL

O Girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura que se adapta a diferentes condições edafoclimáticas, podendo ser cultivada em todos os Estados Brasileiros e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, pela altitude e pelo fotoperíodo; essas características apresentam-se como uma opção nos sistemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos (LEITE et al., 2007).

Segundo Silva et al 2007, a cultura que apresenta características desejáveis sob o ponto de vista agrônomo, tais como: ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento em óleo, o que o qualifica como uma boa opção aos produtores brasileiros, esta possibilidade deverá ser aumentada com a recente decisão do governo federal em se utilizar o biodiesel na matriz energética, por meio de sua adição ao óleo diesel comercializado.

Para Castro et al. (2005), no aspecto econômico, o girassol tem sido altamente requisitado em razão das características nutricionais tanto para alimentação humana quanto animal. O óleo de girassol possui alta proporção de ácidos graxos polinsaturados, principalmente o ácido linoléico, o que lhe confere propriedades medicinais no que diz respeito ao combate ao colesterol e doenças cardiovasculares. Por esta razão é um óleo altamente recomendado para o consumo humano, conferindo-lhe facilidade de comercialização com alto valor agregado.

O girassol é uma planta em que quase todas as suas partes podem ser exploradas pelo homem. Pois, segundo Ungaro (1986), a planta, como um todo, pode ser utilizada como adubo verde, forragem e silagem; as raízes podem ser aproveitadas como matéria orgânica e reciclagem de nutrientes, visando à melhoria do solo e o caule pode ser utilizado na construção civil como isolante térmico e acústico.

No Brasil, a cultura vem demonstrar um grande potencial de expansão, isso se deve a diversidade de aplicações em diferentes áreas como produção de ração, silagem, óleo para consumo humano, floricultura, alimentação animal, além de ser uma excelente alternativa de matéria-prima para a produção de biodiesel. Junto a essa expansão, cresce a necessidade de conhecimentos e aprimoramentos técnico-científicos capazes de contribuir e viabilizar a implantação da cultura (PEREIRA et al, 2007).

Segundo Lopes et al. (2009) o girassol está inserido entre as espécies vegetais de

maior potencial para a produção de energia renovável no Brasil, com matéria-prima para a produção de biocombustível, além de se constituir em uma importante opção para o produtor agrícola em sistemas envolvendo rotação ou sucessão de culturas.

3.2 METAIS PESADOS

Metal é o elemento químico que apresenta ligações químicas fortes entre seus átomos (ligação metálica) e três características físicas definidas, quais sejam: conduzir eletricidade, ter brilho, ser maleável e flexível. O que dá ao metal tais características é o arranjo regular em que se encontram os cátions, cercados por um grande número de elétrons, cuja mobilidade, por exemplo, confere brilho ao metal. Os metais exibem características diferentes, dependendo da temperatura e cerca de 80 dos 110 elementos da tabela periódica são classificados como metais (BACCAN, 2004).

A origem dos metais presentes no solo pode ser litogênica ou antropogênica. Na origem litogênica eles ocorrem como constituintes de minerais primários em rochas ígneas ou em rochas sedimentares. Já a introdução de metais pesados no solo pelo homem é denominada fonte antropogênica e trata-se da principal forma de poluição, sendo que os mais altos teores de metais encontrados na superfície do solo são normalmente devido a esta ação antropogênica (DOMINGUES, 2009).

Assim os “metais pesados”, “metais tóxicos”, “metais traço”, “elementos traço” e ainda “constituintes traço” têm sido utilizados como sinônimos na literatura, referindo-se a elementos (nem sempre metais) nos sistemas aquáticos, de alto potencial toxicológico e associados à poluição (ANZECC/ARMCANZ, 2000). Por outro lado, Hillert (1997) defende que o termo “metal pesado” teria surgido como uma conveniência para os legisladores para referir-se a metais com potencial tóxico. Cádmio, mercúrio, chumbo e bismuto têm sido frequentemente mencionados, até porque a atividade humana aumentou a sua concentração no ambiente.

Os metais pesados podem ocorrer no solo sob diversas formas: na forma iônica ou complexada na solução do solo, como íons trocáveis no material orgânico ou inorgânico de troca ativa, como íons mais firmemente presos aos complexos de troca, como íons quelatos em complexos orgânicos ou organominerais, incorporados a sesquióxidos precipitados ou sais insolúveis, incorporados aos microrganismos e aos seus resíduos biológicos, ou presos nas estruturas cristalinas dos minerais primários ou secundários. Sua distribuição é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: pH,

potencial redox, textura, composição mineral (conteúdo e tipos de argilas e de óxidos de Fe, Al e Mn), características do perfil, CTC, quantidade e tipo de componentes orgânicos no solo e na solução, presença de outros metais pesados, temperatura do solo, conteúdo de água e outros fatores que afetam a atividade microbiana. Esses fatores que afetam a distribuição dos metais pesados no sistema solo controlam sua solubilidade, mobilidade no meio e disponibilidade às plantas (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 1992).

3.2.1 DISPONIBILIDADE DO ZINCO

O Zn se encontra distribuído uniformemente nas rochas magmáticas, ocorrendo como ZnS. Sua solubilização produz Zn^{2+} , que é a forma mais comum e móvel do solo, sendo fortemente retido pela argila e pela matéria orgânica, tornando o elemento praticamente imóvel no solo. A adsorção do Zn^{2+} pode ser reduzida com pH baixo (< 7), levando à mobilização e lixiviação do Zn. Logo, os fertilizantes amoniacais aumentam sua absorção pelas culturas. Sua disponibilidade pode ser controlada pela calagem do solo ou adição de matéria orgânica (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992; BERTON, 1992).

O Zn é um metal muito utilizado, especialmente como cobertura protetora para outros metais como o ferro e o aço, ligas de bronze e latão, baterias e em componentes elétricos (SMITH et al., 1995), e sua contaminação está geralmente ligada à mineração, estando o Cd sempre presente. Outras fontes de contaminação são aço galvanizado, lodo de esgoto e o esterco de porco (ALLOWAY e AYRES, 1997).

Zn é um micronutriente essencial para as plantas e para os humanos e o seu teor total no solo varia de 10 a 300 mg kg⁻¹ (PAIS & JONES, 2000). Nas rochas, o Zn ocorre principalmente como sulfetos, mas também pode aparecer em substituições isomórficas de silicatos, no lugar de Mg²⁺, sendo que a solubilização pelo intemperismo produz o íon Zn²⁺ (RAIJ, 1991).

No solo, este metal pode ser encontrado na solução, complexado a composto orgânico solúvel, na forma trocável, retido em sítios da matéria orgânica, ocluso em sesquióxidos hidratados, precipitado, imobilizado em restos orgânicos e inorgânicos e nas redes cristalinas de minerais primários e secundários (ADRIANO, 1986). Em solo ácido este íon forma ligações eletrostáticas com minerais de argila e matéria orgânica, o que lhe confere solubilidade, entretanto, em solos com valores de pH mais elevado

ocorre sua adsorção por óxidos e aluminossilicatos além de complexação pela matéria orgânica, o que faz com que sua solubilidade diminua (McBRIDE, 1994).

3.2.2 DISPONIBILIDADE DO COBRE

O Cu é um elemento essencial para as plantas e animais. O teor total deste elemento no solo, varia entre 2 e 100 mg kg⁻¹, podendo ocorrer nas formas cúprica (Cu⁺²), cuprosa (Cu⁺) e metálica, sendo a primeira a mais importante (PAIS & JONES, 2000). No solo este metal pode ser encontrado na forma iônica ou complexado em solução, adsorvido a sítios de troca iônica, adsorvido especificamente, ocluído em óxidos, complexado à matéria orgânica ou nas redes cristalinas de minerais primários e secundários (ADRIANO, 1986).

Segundo KABATA-PENDIAS (1992), este elemento tem tendência a associar-se com sulfetos formando compostos muito insolúveis. Todos os minerais do solo, como óxidos de Fe, Mn e Al, a argila e o húmus são capazes de adsorver de forma específica íons de Cu da solução, sendo que as maiores quantidades são encontradas em óxidos de Fe e Mn, hidróxidos de Fe e Al e argilas, as quais aumentam com a elevação do pH. O Cu, quando em elevada concentração no solo, pode precipitar com os ânions sulfeto, carbonatos e hidróxidos, principalmente em pH acima de 6,0. Além disso, várias substâncias orgânicas formam complexos com o Cu.

3.2.3 DISPONIBILIDADE DO NÍQUEL

Segundo Kabata-pendias e pendias (1992), o Ni é um elemento que ocorre associado a carbonatos, fosfatos e silicatos, sendo estável em solução, e capaz de migrar por longas distâncias. Sua distribuição está ligada à matéria orgânica, óxidos amorfos, e frações de argila, sendo que a matéria orgânica possui a capacidade de absorver Ni e torná-lo imóvel. Este elemento também é influenciado pelo pH do solo, pois com sua elevação há menor disponibilidade do metal (BERTON, 1992).

O Ni é um sério poluente liberado durante o processamento de metais e combustão de óleo e carvão. A aplicação de lodo de esgoto e de fertilizantes fosfatados são também importantes fontes de Ni para o solo. A aplicação de calcário, fosfato, ou matéria orgânica diminuem a disponibilidade de Ni para as plantas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992; BERTON, 1992).

O Níquel pode ser essencial para algumas atividades metabólicas e assim como o Cr, este metal pode ocorrer em mais de um estado de oxidação, no entanto, no ambiente apenas a forma bivalente é estável (McGRANTH, 1995). O Ni^{+2} é bastante eletronegativo e esta estrutura eletrônica favorece a formação de complexos muito estáveis com a matéria orgânica. Além disso, apresenta facilidade em formar co-precipitados com óxidos de Fe e Mn, ser adsorvido por aluminossilicatos e minerais de argila, principalmente em pH acima de 6,0, sendo que o pH baixo favorece suas formas trocáveis e solúveis (McBRIDE, 1994).

3.3 RETENÇÃO DOS METAIS PESADOS NO SOLO

Os elementos O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti e P correspondem a aproximadamente 99% do total de elementos da crosta terrestre, o restante dos elementos encontrados na tabela periódica apresentam concentrações individuais que normalmente não excedem 1.000 mg kg⁻¹ (0,1%), por isso são denominados elementos traços (ALLOWAY, 1995a). Elemento traço, portanto, é uma denominação dada aos elementos encontrados naturalmente em baixas concentrações no solo, nas plantas e em águas naturais.

A contaminação dos solos por metais pesados constitui uma forma de poluição grave, sendo considerados os poluentes que mais abalam a saúde pública. Os metais ocorrem naturalmente nos solos, mas quando somados aos efeitos das atividades humanas causam diversos danos. Como exemplo, tem-se o cádmio, utilizado na manufatura de baterias e alguns biocidas que ao entrar em na cadeia alimentar, pode resultar em lesões no fígado e problemas renais em seres humanos (LAMEGO E VIDAL 2007).

Muitos fatores podem afetar essa retenção de metais pesados no solo, além do teor de argila como, por exemplo, a presença de óxidos, do teor de carbono e do pH do solo (CLEMENTE & BERNAL, 2006).

Os metais pesados são retidos pelos solos de três formas: pela adsorção nas superfícies das partículas minerais, complexação por substâncias húmicas em partículas orgânicas e por reações de precipitação. (KHAN et al., 2000).

A adsorção é provavelmente o processo mais importante na química dos metais pesados no solo. A quantidade de cátions que pode ser adsorvida por troca de íons da solução pela fase sólida em condições específicas de temperatura, força iônica e pH,

também denominada capacidade de troca catiônica (CTC), é dependente das espécies envolvidas (SPOSITO, 1989). Quanto maior a CTC do solo, maior a sorção e imobilização do metal (LASAT, 2000). Logo, uma fração dos metais pesados se encontra associado à superfície de partículas argilosas, orgânicas e aos precipitados insolúveis como hidróxidos, carbonatos e fosfatos, por ligações covalentes. Estes íons estão em equilíbrio com o sistema aquoso, podendo se tornar disponíveis para o sistema radicular das plantas (SPOSITO, 1989). Já a adsorção específica, como descrito por Alloway (1996), ocorre quando metais como o Cd, Cu, Ni e Zn formam íons complexos (MOH⁺) em superfícies que contêm grupos hidroxilas, especialmente óxidos hidróxidos de Fe, Mn e Al. Este tipo de adsorção é fortemente dependente do pH, e responsável pela retenção de uma maior quantidade de metais que a troca de cátions. A ordem de força de adsorção é: Cd > Ni > Co > Zn >> Cu > Pb > Hg (ALLOWAY e AYRES, 1997).

3.4 ABSORÇÃO DOS METAIS PELAS PLANTAS

As plantas desenvolveram mecanismos especializados para aumentar a concentração de íons metálicos na solução do solo, ao modificar o ambiente químico da rizosfera, acidificando o meio pela extrusão de H⁺ pelas raízes, estimulando a desorção de íons dos sólidos do solo para a solução. Além disso, algumas plantas também podem exudar uma variedade de compostos orgânicos, formando complexos com os metais e mantendo-os disponíveis para serem absorvidos (LASAT, 2000).

Ao se diminuir o pH do solo, diminui-se também a adsorção dos metais no solo e aumenta-se suas concentrações na solução do solo, aumentando a absorção dos metais pelas plantas. Isto pode ser obtido ao se utilizar fertilizantes contendo amônio ou acidificantes do solo (GARBISU e ALKORTA, 2001). A acumulação de metais pelas plantas também depende da natureza da planta, fatores do solo como o pH, matéria orgânica, concentração do metal, presença de ânions, sua textura, além da temperatura, luminosidade, umidade, presença de corretivos e fertilizantes, aeração, potencial redutor do solo e presença de micorrizas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992; BERTON, 1992).

Segundo Accioly e Siqueira (2000) a capacidade de transferência de metais do solo para a planta é alta com baixas concentrações de metais e baixa com altas concentrações de metais. No solo a maioria dos metais é muito insolúvel para se mover livremente no sistema vascular das plantas, logo elas geralmente formam precipitados

de carbonatos, sulfatos, ou fosfatos imobilizando-os em compartimentos intra e extracelulares. Alguns metais são acumulados nas raízes (especialmente o Pb), provavelmente devido a barreiras fisiológicas contra o transporte de metais para as partes aéreas, enquanto outros são facilmente transportados nas plantas, como o Cd (GARBUSU e ALKORTA, 2001). Quanto à absorção de metais pesados pelas raízes, KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) citam que a mesma pode ser passiva com a difusão de íons da solução externa para a endoderme das raízes, ou ativa, requerendo energia metabólica e ocorrendo contra um gradiente químico.

3.5 FITORREMEDIAÇÃO

Entende-se por fitorremediação o uso de plantas e seus microrganismos associados em condições agrônomicas otimizadas para remover, conter, transferir, estabilizar e/ou degradar, ou tornar inofensivos os contaminantes, incluindo compostos orgânicos e metais tóxicos (RASKIN e ENSLEY, 2000).

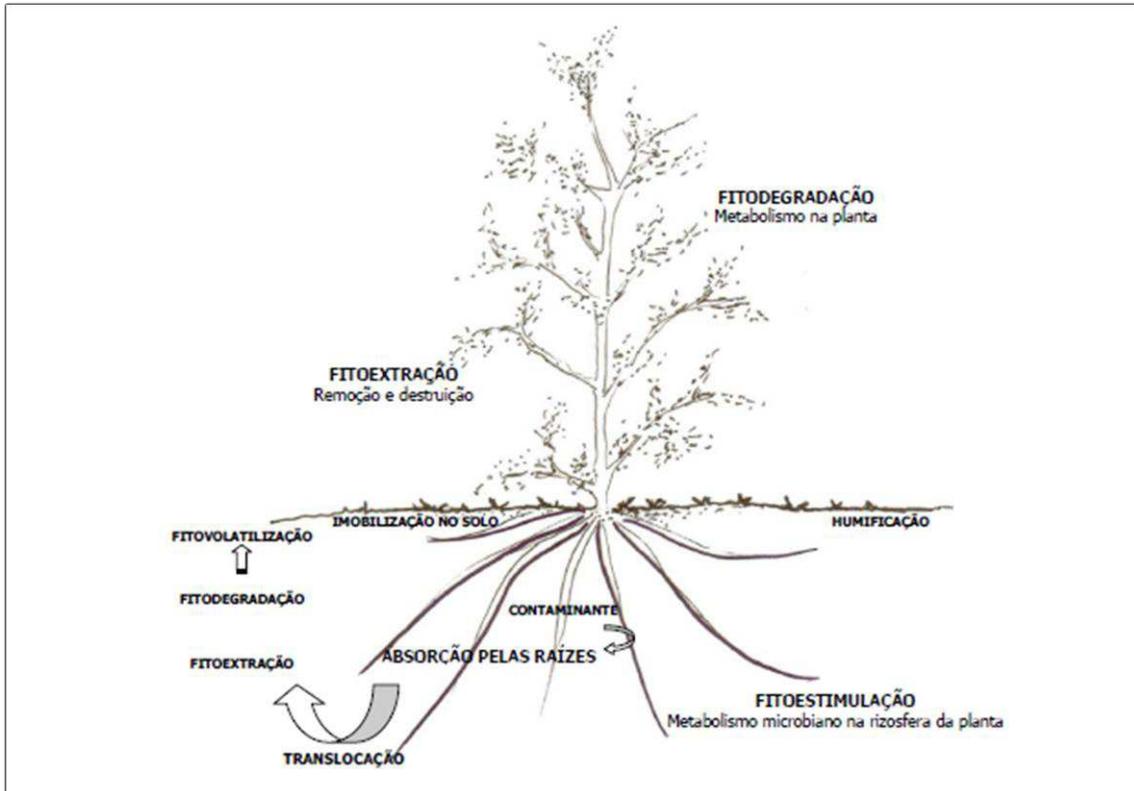
A fitorremediação, quando consorciada com estratégias que promovam a reutilização sustentável de áreas contaminadas, pode gerar um retorno econômico ao investidor da seguinte maneira: 1) pela comercialização da madeira de árvores com potencial fitorremediador (e.g. Eucalipto, Cedro, etc); 2) pela produção de energia a partir da combustão da biomassa vegetal; 3) pelo reflorestamento visando à geração de créditos de carbono e/ou; 4) pela fitoextração visando à recuperação e venda do metal nobre extraído da biomassa sob a forma de “commodity” (MORENO et. Al, 2007).

A tecnologia de fitorremediação se encontra num estágio de comercialização para tratamento de solos contaminados com metais sendo que, em um futuro próximo, poderá proporcionar uma opção de baixo custo sob circunstâncias específicas. Esta tecnologia tende a se adaptar melhor para remediação de locais com contaminação dispersa, baixas concentrações de contaminantes e também esses devem estar localizados na superfície dos solos (PEDRAZZOLI, 2004).

Na recuperação de áreas degradadas a fitorremediação é uma importante técnica de remediação do meio aquático, ar ou solo, com variantes que dependem dos níveis de complexidade. Os principais mecanismos da fitorremediação são: absorção e acumulação dos metais pesados nos tecidos das plantas (fitoextração); adsorção dos metais no sistema radicular, imobilizando os contaminantes (fitoadsorção); libertação de oxigênio para o solo e outros compostos, que podem imobilizar os metais pesados

(fitoestabilização) e estimulação da biorremediação por fungos ou outros microrganismos localizados no sistema solo-raiz (rizorremediação) conforme a Figura 1.

Figura 1. Mecanismos utilizados pelas plantas no processo de fitorremediação



Fonte: Andrade *et al* (2007)

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).

Dentre os mecanismos há dois processos básicos de fitorremediação de metais: a fitoextração e a fitoestabilização. A fitoextração ocorre no transporte de contaminantes do solo para um tecido vegetal sobre o solo e sua destruição posterior. Embora a alta taxa de acúmulo de metais em árvores, arbustos, ervas, gramas e sementes apresente certo potencial, as sementes parecem ser o elemento mais promissor uma vez que sua biomassa apresenta maior produção. O chumbo não tem tido resultado positivo em plantas testadas até agora. Entretanto, há pesquisas indicando que a utilização de solos modificados facilitaria a incorporação do chumbo em plantas (PEDRAZZOLI, 2004).

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.

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.

De modo geral, os metais absorvidos são transportados radialmente pelas raízes, apoplástico (através de paredes celulares e espaços intercelulares), encontrando um primeiro filtro de difusão e regulação na endoderme. Já os metais seguem essencialmente via xilema e, em suas relações com as células vizinhas, podem induzir alterações na diferenciação do próprio sistema vascular. Em concentrações menores alcançam as folhas, podendo alterar a estrutura e a funcionalidade das células fotossintéticas (BARCELÓ E POSCHENRIEDER, 1992).

3.5.1 VANTAGENS DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação possui vantagens comparadas com métodos existentes de remediação, incluem a mínima destruição e desestabilização da área, baixo impacto ambiental e estética favorável (NEDELKOSKA E DORAN, 2000). Além disto, é uma alternativa limpa, de baixo custo e fornece contenção dos lixiviados, manutenção e melhora da estrutura, fertilidade e biodiversidade do solo (Khan et al., 2000), possuindo natureza não intrusiva e absorvendo metais quando em baixa concentração no solo, cuja extração é difícil utilizando-se outra tecnologia (BAIRD, 2001).

Além do baixo custo em comparação com os outros métodos de remediação, permite a reciclagem dos metais e a produção de madeira é uma solução permanente, aplicado in situ, utiliza energia solar, é aplicável a uma grande variedade de contaminantes, possui grande aceitação pública e reduz a erosão (ACCIOLY E

SIQUEIRA, 2000). Outra vantagem é que ela se torna melhor ao longo do tempo, com o crescimento mais profundo e mais denso das raízes, maior transpiração de água e crescimento mais viçoso da parte aérea (SCHNOOR, 2002).

É uma tecnologia que produz a sua própria energia através da fotossíntese (PEREIRA, 2005). Também promove melhoria paisagística com atratividade e boa aceitação da população, em função de ser vista como “tecnologia verde” (DINARDI et al., 2003). Uma tendência é que as plantas geneticamente modificadas sejam utilizadas como plantas fitorremediadoras tendo, assim, maior eficácia.

Portanto, a utilização de espécies vegetais para a restauração de áreas danificadas ou contaminadas poderá apresentar uma excelente alternativa para evitar a intoxicação da população que vive nesses ambientes, reduzindo, substancialmente, os custos de limpeza de lixões e áreas afetadas (Lamego, 2007).

3.5.2 LIMITAÇÕES DA FITORREMEDIAÇÃO

Quanto aos limites da fitorremediação, pouco se sabe sobre os processos moleculares, bioquímicos e fisiológicos que caracterizam a hiperacumulação, e um longo tempo é necessário para que ocorra uma remediação em um nível aceitável (KHAN et al., 2000; BAIRD, 2001), pois até mesmo o melhor acumulador de metais como *Thlaspi caerulescens*, exige um período relativamente longo de cultivos contínuos para descontaminar uma área (GARBUSI E ALKORTA, 2001). A maior parte das plantas hiperacumuladoras possui baixa penetração radicular, pouca produção de biomassa e desenvolvimento lento. Outras limitações são a contaminação potencial da cadeia alimentar e a disposição da biomassa (KHAN et al., 2000). O processo depende da sazonalidade para o crescimento vegetal, pode não atingir 100% de remediação e pode ser ineficiente para contaminantes fortemente adsorvidos (ACCIOLY E SIQUEIRA, 2000).

A fitorremediação de áreas com alta contaminação não é possível, pois é difícil obter concentrações maiores que 2g kg^{-1} de massa seca. Se o solo for levemente mais contaminado que o nível de ação, a fitoextração pode ser uma opção (SCHNOOR, 2002).

O emprego de plantas para remediar solos apresenta algumas desvantagens quando comparado a outras técnicas, por ser uma tecnologia nova, com poucos

resultados concretos em pesquisas não sendo, assim, aceita por algumas entidades reguladoras (ANSELMO et al., 2005).

Os metais devem estar ao alcance das raízes para que ocorra a fitorremediação (ANSELMO et al., 2005). A concentração do contaminante deve enquadrar-se no limite de tolerância da planta usada de maneira que não atrapalhe seu desenvolvimento (DINARDI et al., 2003). Depende também da solubilidade do elemento na solução do solo (PEREIRA, 2005).

O tempo necessário para uma remediação satisfatória e, geralmente, longo podendo requerer uma estação de crescimento, tendo o clima como fator que pode restringir o desenvolvimento das plantas conforme ANSELMO et al., (2005). Atuam, em alguns casos, de forma seletiva ao metal a ser removido, embora possa fitorremediar mais de uma substância quando a concentração não for tóxica (VIEIRA, 2007).

Na fitorremediação os compostos orgânicos podem, quando metabolizados, ser mais prejudiciais ao ambiente do que os compostos originais. Ainda podem propagar na cadeia alimentar, se as plantas acumuladoras forem ingeridas por animais (ANSELMO et al., 2005). Enfim, ao usar esta tecnologia, deve-se considerar os riscos sobre a possibilidade dos vegetais entrarem na cadeia alimentar (DINARDI et al., 2003).

3.6 COMPOSTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O desenvolvimento dos grandes centros urbanos tem conduzido a um aumento desordenado na geração de resíduos, o que vem consequentemente acelerando o ritmo de degradação dos recursos naturais. A redução dos impactos ambientais causados por lixo urbano e efluentes industriais, certamente, apresenta-se como um dos maiores desafios a serem enfrentados pelo homem no século XXI (ABREU JUNIOR et al., 2005). Neste contexto, nos últimos anos, intensificaram-se os estudos que visam um destino correto a estes resíduos, de modo que os mesmos, além de deixarem um problema ambiental, tornem-se uma alternativa viável economicamente para aplicação na agricultura. Abreu Junior et al., (2005), afirma que depois de separada, a fração orgânica do lixo urbano pode ser tratada por meio da compostagem, tendo como produto final um resíduo orgânico humificado com potencial de utilização na agricultura.

De acordo com (Oliveira, et. al, 2005) o Brasil produz 241.614 toneladas de lixo por dia, dos quais 76% são depositados a céu aberto, em lixões, 13% são depositados em aterros controlados, 10% em usinas de reciclagem e 0,1% é incinerado. Do total do

lixo urbano 60% são formados por resíduos orgânicos possíveis de se transformar em excelentes fontes de nutrientes para as plantas.

A utilização do composto de lixo urbano como adubo orgânico propicia a reciclagem de nutrientes e a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Sendo a composição química desse composto é bastante variável, dentre os nutrientes presentes no adubo orgânico, o Cálcio é o que está em maiores concentrações (BERTON & VALADARES, 1991). Além disso, o efeito no solo, o uso de composto de lixo urbano pode propiciar o aumento da produção e maior acúmulo de nutrientes nas plantas (COSTA et al., 2008).

3.6.1 UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO NA AGRICULTURA

A disposição de qualquer resíduo na agricultura está diretamente relacionada à necessidade de minimização de efeitos do desenvolvimento da sociedade contemporânea ao longo do tempo, efeitos estes nem sempre benéficos para o meio ambiente, à vida e ao próprio ser humano (ARMSTRONG, 2006).

O avanço industrial tem gerado grande quantidade e variedade de resíduos, causando sérios problemas ambientais. Com o aumento dos custos dos fertilizantes comerciais e a escassez de áreas disponíveis próximas aos grandes centros urbanos para o despejo dos resíduos industriais e urbanos, para se fazer uso de resíduos na agricultura alguns fatores devem ser levados em consideração, entre eles o tipo de cultura que está sendo utilizada, por outro lado, o composto de lixo urbano possui características, do ponto de vista agrônomo, que, aliado a água residuária pode substituir o uso de fertilizantes químicos no cultivo de plantas, fato que tem sido relatado na literatura, por diversos autores. Assim, Ruppenthal e Castro (2005), trabalhando com diferentes doses de composto de lixo urbano sobre o desenvolvimento de plantas de gladiolo, constataram que a aplicação de 10 ton ha⁻¹ de composto de lixo urbano proporcionou condições adequadas para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo e melhorou o desenvolvimento das plantas. Na produção de mudas de abieiro, Teixeira et al. (2003) e Furlan Júnior et al. (2003) recomendam o uso de 10 e 20% de composto de lixo urbano em mistura com solo na formulação do substrato.

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 solucionar o 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).

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).

Os metais pesados podem expressar seu potencial poluente diretamente sobre os organismos dos solos, pela disponibilidade às plantas, pela contaminação de águas superficiais via erosão do solo, e das águas subsuperficiais, por sua movimentação vertical e descendente no perfil do solo (Logan & Chaney, 1983; Levine et al., 1989). Portanto, conhecer o destino desses elementos no solo é essencial para a avaliação do impacto ambiental provocado pelo uso agrícola de compostos de lixo urbano, uma vez que a extensão desse impacto está diretamente relacionada com a habilidade do solo em reter esses metais (ELLIOTT et al., 1986).

3.7 REUSO NA AGRICULTURA

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 reuso 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).

Dentre as principais substâncias orgânicas comumente encontradas nos esgotos: carboidratos, lignina, gorduras, sabões, detergentes, proteínas e seus produtos de decomposição, além de outras substâncias naturais ou sintéticas, como resíduos de medicamentos (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

As águas residuárias de origem doméstica são, geralmente, perenes e sua composição é essencialmente orgânica e relativamente constante quando existe controle domiciliar de águas (Lima, 2009), esta característica contribui de acordo com Souza et al., (2003), o uso planejado de águas residuárias doméstica na agricultura vem sendo apontado como uma medida para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido nordestino, sendo uma alternativa para os agricultores localizados especificamente nas áreas circunvizinhas das cidades.

Segundo Brega Filho e Mancuso (2002), o reuso da água subentende uma tecnologia desenvolvida segundo os fins a que a água se destina e de como a mesma tenha sido anteriormente utilizada. A conceituação precisa da expressão reuso de água está condicionada ao exato momento a partir do qual se admite que o reuso tenha sido feito. Neste contexto, segundo Brega Filho e Mancuso (2002), a caracterização de reuso deve considerar o volume de esgoto recebido pelo corpo de água, em relação ao volume de água inicialmente existente no rio.

Encontra-se na literatura vários conceitos sobre reuso, o que dificulta o entendimento desta prática. No entanto, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1973), existem as seguintes categorias:

- Reúso Indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída;

- Reúso Direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- Reciclagem Interna: é o reúso da água internamente, em instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

3.7.1 POTENCIAL E LIMITAÇÕES DA ÁGUA RESIDUÁRIA

No Brasil, são poucos os registros do reúso de águas residuárias proveniente do tratamento de esgoto em diversas atividades, principalmente na agricultura. Entretanto, experiências nacionais e internacionais têm demonstrado tendência ao fortalecimento e expansão do reúso no Brasil, para fins diversos, especialmente para a irrigação de diversas culturas como o algodão (Bezerra e Fidelis Filho, 2009), milho (Costa et al., 2009), girassol (Andrade et al., 2012), espécies forrageiras (Azevedo et al., 2007) e na produção de mudas de espécies florestais (Augusto et al., 2003). Alguns trabalhos também demonstram os benefícios relacionados à irrigação com águas residuárias no cultivo de citros (MORGAN et al., 2008).

O reúso de água apresenta diversas vantagens do econômico, social e ambiental. Segundo Guidolin (2000) é imprescindível destacar o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes urbanos brutos, destacando-se a presença de macronutrientes, como N, P e K, e de micronutrientes, como As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, alguns deles necessários ao desenvolvimento vegetal e outros até fitotóxicos. No que se refere aos patógenos, vetores de doenças ao ser humano, é preciso destacar que o solo atua como redutor do período de sobrevivência dos mesmos.

Neste aspecto a Organização Mundial de Saúde (WHO) estabeleceu, em 1990, diretrizes sanitárias para o uso de efluentes urbanos em irrigação, tendo em vista a rápida expansão com que esta atividade vem ocorrendo em diversos países.

Segundo Brega Filho & Mancuso (2002), a prática de reúso de água no meio agrícola além de garantir a recarga do lençol freático serve para fertirrigação de diversas culturas, bem como para fins de dessedentação de animais. A utilização de água proveniente de reúso é diferenciada para irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), uma vez que as últimas necessitam de um nível maior de qualidade, porém, conforme, Beekman (1996), grandes volumes de águas servidas podem ser utilizadas em categorias

de reúso, como agricultura irrigada e recarga de aquíferos, devendo-se atentar para suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação.

O reúso de água apresenta, também, algumas desvantagens, dentre elas a poluição por nitratos nos aquíferos subterrâneos utilizados para abastecimento de água e o acúmulo de contaminantes químicos no solo. O reúso de água na agricultura tem-se mostrado vantajoso visto que o nível de tratamento requerido para as águas residuárias frequentemente é moderado, a água residuária contém os nutrientes necessários às plantas e condiciona o solo.(HAMMER E HAMMER JR, 1996).

3.7.2 LEGISLAÇÃO DO REUSO

A lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, em seu Capítulo II, Artigo 20, Inciso 1, estabelece, entre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a necessidade de “assegurar, à atual e às futuras gerações, a disponibilidade necessária de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Apesar do Brasil não contar com uma legislação específica para o reúso, as ações se têm orientado por critérios de outros países, Organização Mundial de Saúde (FIORI et al., 2006), pelas resoluções do CONAMA 357/05 e CNRH 54/05 e pela norma NBR 13.969/97.

O conceito de qualidade de água refere-se de acordo com Lima (2008) a sua adaptabilidade para determinado uso, isto é, se suas características físicas, químicas e biológicas são adequadas à necessidade do usuário. A resolução do CONAMA 357/05 classifica as águas, segundo seus usos preponderantes, em nove classes: As águas doces são enquadradas nas quatro primeiras e distintas: Classe Especial – abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção; Classe 1 – ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção de comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho) e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem no solo e sejam ingeridas cruas sem remoção de película; Classe 2 – ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana; Classe 3 – ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à dessecação de animais e Classe 4 – navegação, harmonia paisagística e aos usos menos exigentes (CONAMA, 2005).

No Brasil a prática do reúso de esgotos, principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas culturas forrageiras é, de certa forma, difundida. Entretanto, constitui-se procedimento não institucionalizado e se tem desenvolvido, até agora, sem qualquer forma de planejamento ou controle. Na maioria das vezes é totalmente inconsciente, por parte do usuário que utiliza águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes para irrigação de hortaliças e outros vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores e provocando impactos ambientais negativos (FERNANDES, 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada no município de Campina Grande - PB, sob as seguintes coordenadas 7°12'52"S e 35°54'24" W e altitude de 550 m.

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

Figura 2-Mapa do local de instalação e condução do experimento



Fonte: *googleEarth*

4.2 SOLO UTILIZADO

O solo utilizado para preenchimento dos vasos foi proveniente do Distrito de São José da Mata - PB, tendo sido coletado nos primeiros 20 cm da camada superficial. Após a coleta as amostras foram conduzidas para a área experimental, secadas ao ar, destorroadas, peneiradas em malha de 2mm de abertura e encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG),

onde o solo foi classificado como NeossoloRegolíticoeutrófico (Embrapa, 1999) e a caracterização físico-química do solo foi realizada conforme as recomendações da Embrapa (1997). Os resultados das análises de solo se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Análise das características físico-químicas do NeossoloRegolítico utilizado no preenchimento das unidades experimentais

| Características físicas | |
|--|---------|
| Areia (%) | 84,02 |
| Silte (%) | 7,93 |
| Argila (%) | 8,05 |
| Umidade (%) | 4,27 |
| Densidade do solo | 1,49 |
| Densidade da partícula | 2,63 |
| Porosidade total | 43,85 |
| Características químicas | |
| Cálcio (rneq L ⁻¹) | 1,55 |
| Magnésio (rneq L ⁻¹) | 1,00 |
| Sódio (rneq L ⁻¹) | 0,14 |
| Potássio (meqL ⁻¹) | 0,25 |
| Enxofre (meq 100g ⁻¹) | 2,94 |
| Hidrogênio (meq 100g ⁻¹) | 1,86 |
| Alumínio (meq 100g ⁻¹) | Ausente |
| Carbonato de Cálcio Qualitativo | ausente |
| Carbonato | 0,0 |
| Carbono Orgânico (%) | 0,37 |
| Matéria Orgânica (%) | 0,64 |
| Nitrogênio (%) | 0,03 |
| Fósforo Assimilável (mg 100g ⁻¹) | 0,80 |
| Cloreto (rneq L ⁻¹) | 2,50 |
| Bicarbonato (rneq L ⁻¹) | 2,70 |
| pH _(extrato de saturação) | 5,45 |
| pH H ₂ O (1:2,5) | 5,62 |
| CE _(extrato de saturação) (dS m ⁻¹) | 0,12 |
| Porcentagem de saturação (%) | 25,00 |

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se no experimento delineamento em blocos inteiramente casualizados. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 6 x 2, com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais, sendo constituídos por seis doses de composto de resíduo sólido urbano (0, 60, 100, 140, 180, e 220 kg N ha⁻¹), duas qualidades de água de irrigação (água de abastecimento e água residuária). Para calcular a quantidade

de composto orgânico, foi considerada a quantidade de nitrogênio demandada pela cultura.

4.4 MONTAGEM DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

Cada unidade experimental foi constituída de um vaso plástico com capacidade de 8,4 litros, 28 cm de altura e 23 cm de diâmetro. O material utilizado foi colocado em camadas, ou seja: na parte inferior dos vasos foram adicionados 5 cm de brita número zero + areia, para facilitar a drenagem e evitar perda de material de solo; em seguida, 15 cm de solo peneirado e, por último, 5 cm de solo homogeneizado com composto de resíduo sólido urbano. Foi deixada em todos os vasos, uma folga de 3 cm na parte superior para realização dos tratos culturais e manejo de irrigação. Os vasos foram perfurados em baixo com o encaixe de mangueiras, para facilitar o escoamento do fluxo drenado até as garrafas plásticas.

Figura 3. Montagem das unidades experimentais



4.5 CROQUI DO EXPERIMENTO

A Figura 4 detalha o croqui do experimento, no qual as unidades experimentais foram distribuídas através de sorteio prévio. O espaçamento utilizado foi de 0,7 m entre vasos e de 0,9 m entre blocos.

Figura 4. Croqui do experimento

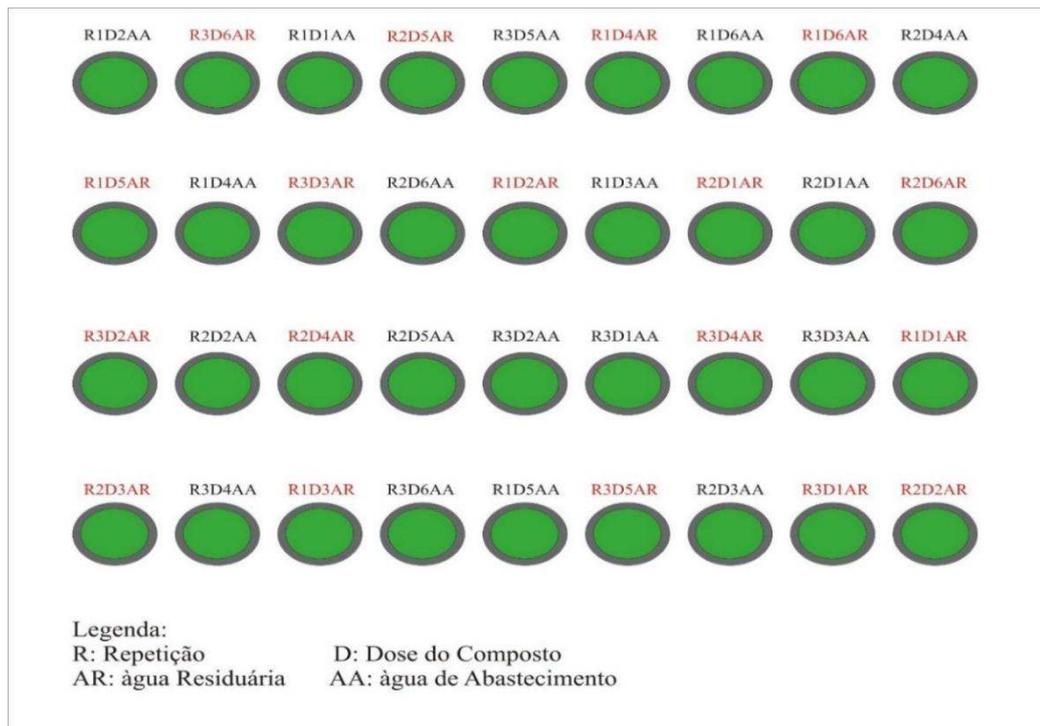


Figura 5. Vista geral do experimento



4.6 CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO

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 130 dias, tempo suficiente para que a matéria orgânica fosse estabilizada pela ação de micro-organismos.

Após a coleta, amostra do composto foi acondicionada em isopor com gelo e, em seguida, encaminhada para as análises, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Laboratório de Fertilizantes e Resíduos do Instituto Agronômico de Campinas, onde foi realizada a caracterização dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e metais pesados, mediante o método de ensaio: Instrução Normativa 28 de 27/07/2007.

Tabela 2. Caracterização do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano

| Parâmetros | Valor |
|---|--------------|
| pH | 8,7 |
| Umidade a 60 – 65 °C (%) | 17,4 |
| Matéria orgânica (g kg ⁻¹) | 112 |
| Carbono orgânico (g kg ⁻¹) | 56,9 |
| Nitrogênio Kjeldahl (g kg ⁻¹) | 5,5 |
| Relação C/N | 10,3 |
| Boro (mg kg ⁻¹) | 6,4 |
| Cádmio (mg kg ⁻¹) | 0,4 |
| Cálcio (g kg ⁻¹) | 10,2 |
| Chumbo (mg kg ⁻¹) | 20,9 |
| Cobre (mg kg ⁻¹) | 39,5 |
| Enxofre (g kg ⁻¹) | 1,0 |
| Ferro (mg kg ⁻¹) | 1391 |
| Fósforo (g kg ⁻¹) | 4,9 |
| Magnésio (g kg ⁻¹) | 1,5 |
| Manganês (mg kg ⁻¹) | 70,1 |
| Níquel (mg kg ⁻¹) | 4,3 |
| Potássio (mg kg ⁻¹) | 2067 |
| Zinco (mg kg ⁻¹) | 121 |

Análise realizada no Instituto Agronômico de Campinas (IAC)

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.

Tabela 3. Resultado da análise biológica do composto orgânico oriundo de resíduo sólido urbano

| Parâmetros | Unidade ⁽¹⁾ | Valores |
|---------------------------|--|---------|
| Coliforme Termotolerantes | NMP ² g ⁻¹ de MS | 134,65 |
| <i>Salmonellasp.</i> | NMP 10g ⁻¹ de MS | Ausente |
| Ovos viáveis de helmintos | Ovos 4g ⁻¹ de ST | 0,11 |

* Análise realizada no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) ; 1Resultados expressos na amostra em base seca; Número mais provável

4.7 SEMEADURA E TRATOS CULTURAIS

A cultura utilizada foi o Girassol (*Helianthus annuus*) variedade EMBRAPA 122/V-2000, que possui um ciclo vegetativo de 100 dias e início de florescimento de 53 dias, alcançando uma altura de 155 cm, com o diâmetro de capítulos de 18 cm. 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 seis sementes colocadas a 1 cm de profundidade.

Figura 6. Plantas de girassol com 6(A) e 6(B) dias após a semeadura



O início da germinação se deu com 4 dias após o plantio, perfazendo 85,15% de germinação (Figura 4A). Os desbastes foram realizados 5 dias após a germinação total,

deixando-se duas plantas por vaso e a última aos 15 dias após a germinação (Figura 4B) quando se deu a primeira leitura biométrica.

Durante o ciclo da cultura, realizou-se o controle manual de plantas daninhas. O controle de pragas foi realizado de acordo com a necessidade da cultura e teve caráter preventivo, visando o desenvolvimento adequado das plantas.

4.8 DETERMINAÇÃO DAS LÂMINAS E CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

A irrigação das plantas foi realizada com duas diferentes fontes 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, fornecida pela CAGEPA e 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, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química das águas utilizadas nas irrigações, água potável e residuária doméstica tratada

| Parâmetros | Água Potável | Água Residuária Tratada | |
|-------------------------------|--------------|-------------------------|---------|
| | | 45 dias | 75 dias |
| pH | 7,3 | 8,3 | 8,3 |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,3 | 1,3 | 1,43 |
| P-Total (mg L ⁻¹) | au | 3,5 | 3,52 |
| K (mg L ⁻¹) | 5,43 | 19,2 | 24,7 |
| N-Total (mg L ⁻¹) | au | 28,6 | 28,5 |
| Ca (mg L ⁻¹) | 20 | 98,2 | 91 |
| Mg (mg L ⁻¹) | 15,5 | 33,4 | 29,5 |
| Na (mg L ⁻¹) | 35,57 | 14,06 | 134,2 |
| Zn (mg L ⁻¹) | au | 0,01 | 0,01 |

| | | | |
|-----------------------------|-------------|----------|------|
| Cu (mg L ⁻¹) | au sente | 0,0 8 | 0,06 |
| Fe (mg L ⁻¹) | au sente | 0,0 1 | 0,01 |
| Mn (mg L ⁻¹) | au sente | 0,0 3 | 0,01 |

*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 (Kc) correspondente à cultura do girassol, em diferentes fases de desenvolvimento, Equação 1.

$$ETc = ETo \times Kc \quad (1)$$

Onde: ETc = Evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹;

ETo = Evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹;

Kc = coeficiente de cultivo

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

$$ETo = Kp \times EV \quad (2)$$

Em que: Kp = coeficiente de tanque;

EV = evapotranspiração do tanque, em mm dia⁻¹

Adotou-se um coeficiente de tanque de 0,75, de acordo com as características da estação meteorológica (ALLEN et al., 1998). Para a estimativa da evapotranspiração de cultura utilizaram-se coeficientes de cultura (Kc) desenvolvidos por Doorenbos&Pruitt (1977) conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Coeficiente de cultivo (Kc) correspondente à cultura do girassol, em diferentes fases de desenvolvimento.

| Estádios de desenvolvimento | Caracterização dos estádios | Kc's |
|---|---|-------------|
| Estádio I – Fase inicial | Germinação e crescimento inicial, quando a superfície do solo está coberta muito pouca ou quase nada pela cultura. | 0,35 |
| Estádio II – Fase de Crescimento | Desde o final da fase inicial até se chegar a uma cobertura com sombreamento efetivo completo. | 0,75 |
| Estádio III – Fase do Período intermediário | Desde o final da fase anterior até o momento de início da maturação, manifestada pela descoloração das folhas ou sua queda. | 1,13 |
| Estádio IV – Fase do Período final | Do estágio anterior até a plena maturação ou colheita | 0,75 |

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

4.9 PARÂMETROS AVALIADOS

4.9.1 VARIÁVEIS AGRONÔMICAS

Para a verificação dos efeitos da aplicação das doses de composto de lixo urbano e da irrigação com água residuária tratada sobre os componentes de crescimento e produção do girassol, foram realizadas 5 avaliações a cada 15 dias após emergência das plantas:

4.9.1.1 Características de crescimento e produção

a) Altura da planta (AP) – Foi determinada em centímetros, entre o nível do solo e o apical.

b) Diâmetro caulinar – Foi medido com um paquímetro digital a 3 centímetros acima do nível do solo.

c) Número de folhas – O número de folhas foi obtido com a contagem das folhas nas avaliações.

d) Produção de Fitomassa - Para a análise de matéria seca, utilizou-se o método destrutivo, as plantas foram cortadas, lavadas, pesadas, secas e encaminhadas para o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) para realização das análises.

e) **Diâmetro externo e interno de capítulo** - foram feitas leituras na horizontal com auxílio de régua graduada, considerando uma linha imaginária passando no centro do capítulo.

f) **Número de pétalas** -O número de Pétalas foi obtido com a contagem nas avaliações.

4.10 CÁLCULOS DA FITORREMEDIAÇÃO

Os teores dos metais pesados Zn, Cu e Ni, 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⁻¹), foram: 0; 145,00; 242,00; 338,80; 435,60 e 532,40 mg de zinco, 0; 24,20; 79,00; 110,60; 142,20; 173,80 mg de cobre e 0; 0,946; 1,565; 2,193; 2,812; 3,444 mg de níquel em cada vaso. As análises dos teores de metais pesados contidos nas plantas de girassol foram realizadas no Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Para analisar a absorção desses metais e verificar a possível tendência do girassol, variedade 122/V2000 de ser uma planta fitoextratora, as plantas foram coletadas e divididas em duas partes (aérea e raiz) e encaminhadas ao laboratório. As plantas 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 60^o C, com ventilação forçada até atingirem peso constante, pelo 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.

Por meio da quantidade acumulada na parte aérea e nas raízes calcularam-se a percentagem de acúmulo de metais pesados (zinco, cobre e níquel) em relação ao acúmulo total e o índice de translocação dos elementos, através das seguintes equações (4 e 5):

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

$$CF = \frac{\text{Teor do metal}(mgkg^{-1}) \text{ na parte aérea}}{\text{Teor do metal}(mgkg^{-1}) \text{ inicial do solo}} \quad (4)$$

A translocação dos elementos foi avaliada através 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 considerados os dados de produção de matéria seca do girassol e os teores de Zn, Cu e Ni extraído pelas plantas. Com base nessas informações utilizou-se a equação proposta por Abichequer e Bohnen, (1998).

$$IT(\%) = \frac{\text{Quantidade do metal acumulada na parte aérea}}{\text{Quantidade do metal acumulada na planta}} \times 100 \quad (5)$$

4.11 ANÁLISES ESTÁTISTICAS

Os resultados das variáveis determinadas durante o ciclo do girassol, foram submetidos à análise de variância através do software estatístico SISVAR e o nível de significância pela análise do teste “F”. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis de crescimento do girassol

5.1.1 Altura das plantas

Na Tabela 5 apresenta-se o resumo da análise de variância e valores médios de altura das plantas de girassol, em diferentes épocas, em resposta à irrigação com água residuária doméstica tratada e aplicação de diferentes doses de nitrogênio oriundo de composto de resíduo sólido urbano.

Na análise dos dados da referida tabela, constatou-se efeito significativo em relação as doses de nitrogênio aplicadas via composto de lixo urbano, nas diferentes épocas avaliadas. Em relação ao tipo de água e a interação da água versus dose de nitrogênio, obtiveram influencia apenas a partir dos 60DAE a 1% de probabilidade.

Ainda na Tabela 5, observa-se que os valores determinados para os coeficientes de variação foram considerados baixos, refletindo boa precisão experimental. Ainda na mesma tabela, se verifica que as plantas que receberam 220 kg N ha⁻¹ obtiveram maior

crescimento nas condições desta pesquisa até 45DAE, no entanto para 60 e 75DAE a dose com que as plantas obtiveram maior crescimento foi 180 kg N ha^{-1} . Santos, (2012) trabalhando com algodoeiro adubado composto orgânico e utilizando água residuária na irrigação, observou que as plantas que receberam 180 kg ha^{-1} doses de nitrogênio oriundas do composto orgânico, também mostraram maior crescimento nas condições de pesquisa.

No que se refere as médias das alturas de plantas avaliadas nas diferentes épocas, observa-se, que a partir dos 30DAE todas as plantas irrigadas com água residuária doméstica tratada obtiveram alturas significativamente superior as plantas irrigadas com água potável. Santos et al. (2003) trabalhando com a cultura do girassol e utilizando lodo de esgoto e água residuária, observaram um aumento da altura das plantas irrigadas com água residuária de 17,99% em relação as plantas irrigadas com água de abastecimento. Andrade et al. (2007) que estudando o crescimento inicial de plantas de girassol, notaram que as plantas irrigadas com águas residuárias tiveram maior desenvolvimento em altura do que as plantas irrigadas com água de abastecimento, denotando que o uso da água residuária favorece o crescimento de altura caulinar do girassol, em virtude da disponibilidade de nutrientes contidos nas águas residuárias, principalmente o nitrogênio.

Houve uma redução no crescimento nas plantas submetidas à dose de 220 kg N ha^{-1} a partir dos 75 DAE, sendo maiores as médias das plantas submetidas à dose de 180 kg N ha^{-1} , este fato ocorreu devido, provavelmente, às elevadas quantidades de metais pesados existentes no composto de lixo utilizado que, a partir de certa dose, passa a interferir negativamente no crescimento da planta. Além disto, as plantas que não receberam o composto de resíduo sólido urbano como fertilizante, obtiveram as menores médias durante todo o experimento. Lima et al. (2011) concluíram que o composto de resíduo sólido urbano adicionado ao substrato promove, maior crescimento das plantas de pinhão-manso. Estimando-se que o máximo crescimento das mudas é obtido com a adição de 24% de composto de resíduo sólido urbano ao material de subsolo. Costa et al. (2008), verificaram que o composto de lixo orgânico reagiu de forma positiva em todas as variáveis de crescimento da mamona estudadas, denotando que este adubo é eficaz para as plantas.

Uma das limitações para o uso de composto de lixo urbano como fertilizante orgânico, é o risco deste material conter alto teor de metais pesados (Hargreaves et al., 2008), os quais podem ser absorvidos pela planta e, no caso de culturas alimentares,

prejudicar a saúde da população. Como o girassol é uma cultura industrial cujo principal produto é um óleo não comestível, esta preocupação não existe e o uso de composto de lixo urbano passa a ser uma boa opção.

Em função das 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 até os 75 DAE.

Tabela 5.Resumo da análise de variância referente à variável altura das plantas do girassol, submetida á irrigação com água residuária doméstica tratada e adubação nitrogenada

| Fonte de Variação | L | Quadrados Médios | | | | |
|--|---|---------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| | | 1 | 30 | 45 | 60 | 75 |
| | | 5 DAE | DAE | DAE | DAE | DAE |
| Tipo de água (A) | | 1, 173 ^{ns} | 11,3 34 ^{ns} | 22 5,000 ^{ns} | 52 1,361 ^{**} | 38 6,778 ^{**} |
| Doses de Nitrogênio (N) | | 3 3,123 ^{**} | 320, 334 ^{**} | 92 8,044 ^{**} | 49 7,650 ^{**} | 31 0694 ^{**} |
| N x A | | 7, 590 ^{ns} | 19,2 67 ^{ns} | 60, 000 ^{ns} | 95, 828 ^{**} | 79, 494 ^{ns} |
| Regressão Linear | | 1 49,660 ^{**} | 154 3,326 ^{**} | 44 11,121 ^{**} | 22 15,118 ^{**} | 13 94,293 ^{**} |
| Regressão Quadrática | | 9, 540 ^{ns} | 23,6 82 ^{ns} | 11 2,161 ^{ns} | 18 3,440 ^{ns} | 61, 250 ^{ns} |
| Regressão Cúbica | | 2, 522 ^{ns} | 33,1 33668 ^{ns} | 0,3 466 ^{ns} | 30, 087 ^{ns} | 28, 938 ^{ns} |
| Resíduo | | 5, 624 | 31,5 87 | 84, 989 | 44, 727 | 44, 999 |
| Total | 4 | | | | | |
| | 5 | | | | | |
| CV (%) | | 1 7,69 | 17,8 1 | 14, 42 | 8,8 1 | 8,6 5 |
| Doses de N (Kg.ha⁻¹) | | | | Média das alturas das plantas (cm) | | |
| 0 | | 9, | 19,3 | 44, | 60, | 66, |
| 60 | | 1 | 28,5 | 54, | 71, | 74, |
| 100 | | 1 | 31,0 | 66, | 74, | 74, |

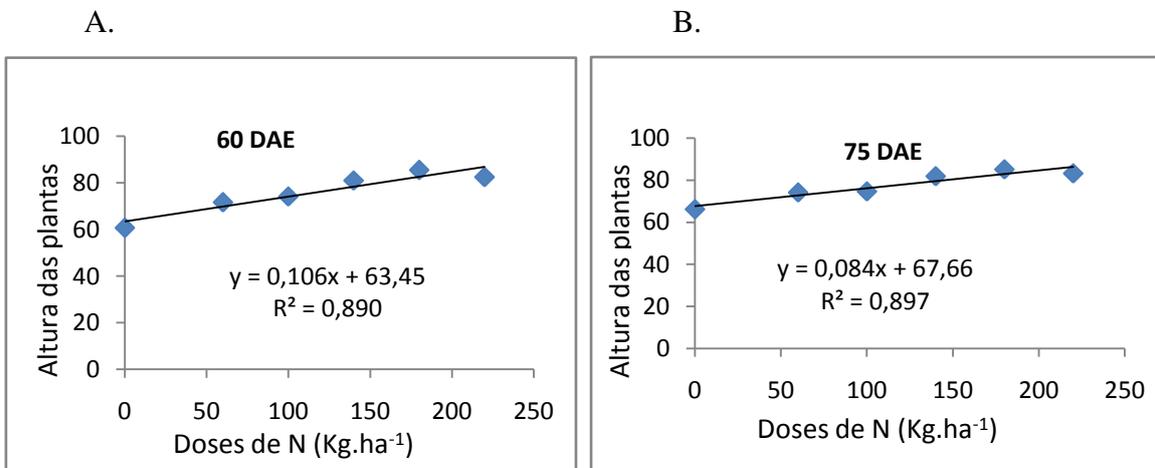
| | | | | | |
|---------------------------|---------|------|-------|-------|-------|
| 140 | 1 | 33,8 | 66, | 81, | 81, |
| 180 | 1 | 36,0 | 74, | 85, | 85, |
| 220 | 1 | 40,6 | 77, | 82, | 83, |
| Fonte de água | | | | | |
| Água Potável | 1 | 31,0 | 61, | 72, | 58, |
| | 3,583 a | 00 a | 444 a | 111 a | 333 a |
| Água Residuária Doméstica | 1 | 32,1 | 66, | 79, | 74, |
| | 3,222 a | 22 a | 444 a | 722 b | 000 b |

*, ** 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

Verifica-se, Figura 7, que a variável altura das plantas de girassol aumentou linearmente, 5,5 e 4,5 cm com o incremento de 50 kg ha^{-1} de nitrogênio adicionado via composto de resíduo sólido urbano, aos 60 e 75 DAE, respectivamente. 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.

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 75 DAE, se ajustaram a um modelo de regressão linear com boa correlação dos dados indicados pelo valor de R^2 , próximo a 90%.

Figura 7. Altura de plantas Girassol EMBRAPA 122/V-2000 em diferentes épocas, irrigadas com água residuária doméstica tratada



5.1.1.1 Diâmetro do caule

Na Tabela 6, encontra-se o resumo da análise de variância e valores médios do diâmetro de caule das plantas girassol, em diferentes épocas, em resposta à irrigação com água residuária tratada e aplicação de diferentes doses de nitrogênio.

Percebe-se que para as doses de nitrogênio ocorreram efeito significativo aos 15 e 45 DAE sendo respectivamente a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quando se analisa a interação (qualidade de água x doses de nitrogênio) verifica-se que houve efeito significativo a 5% de probabilidade apenas aos 45 DAE.

As plantas que receberam 220 kg N ha⁻¹ obtiveram maior diâmetro de caule em todas as diferentes épocas avaliadas. Resultados encontrados por Andrade (2011), com girassol colorido *Helianthus annuus L. var. Sol Noturno*, adubado com doses de esterco bovino e irrigado com água residuária mostraram que as médias da variável diâmetro do caule aumentaram conforme a dose de adubo.

No que se refere as médias dos diâmetros de caule das plantas avaliadas nas diferentes épocas, observa-se, na Tabela 6, todas as plantas irrigadas com água residuária doméstica tratada obtiveram diâmetro significativamente superior as plantas irrigadas com água potável. Ferreira et al. (2005), utilizando água residuária tratada no cultivo do algodãoherbáceo, notaram aumento de diâmetro caulinar em relação à água de abastecimento. Resultados semelhantes aos do presente estudo, também foram encontrados por Costa (2004) para a cultura do milho irrigado com água residuária, apresentando esta superioridade de diâmetro caulinar em todas as datas de avaliação.

Galbiatti et al. (2007) estudando efeito da água residuária sobre a cultura da alfaca entre os meses de maio e junho, encontraram uma superioridade no DC de 10,66% sobre as plantas irrigadas com água tratada. Este bom desempenho em favor da água residuária, se deve, possivelmente, ao aporte nutricional e a uma boa nutrição nitrogenada, que promove desenvolvimento adequado do girassol antes da sua floração (ORDONEZ, 1990).

O maior diâmetro caulinar do girassol obtido foi de 9,68 mm para dose de 220 kg N ha⁻¹ aos 75 DAE. Silva et al. (2012) utilizando a cultura do girassol, variedade 122/V-2000, irrigada com água residuária e adubada com composto de lixo urbano, constatou que a utilização da água residuária, promoveu acréscimos consideráveis denotando superioridade em relação à água de abastecimento, o autor observou, ainda, que o diâmetro do caule foi a variável mais afetada positivamente, e que o composto de lixo urbano se mostrou eficaz até a dose de 180 kg N ha⁻¹, incrementando positivamente em todas as variáveis estudadas, verificando-se que o mesmo ocorreu nessa pesquisa.

Tabela 6.Resumo da análise de variância referente à variável diâmetro do caule do girassol EMBRAPA 122/V-2000 para a água potável residuária doméstica tratada

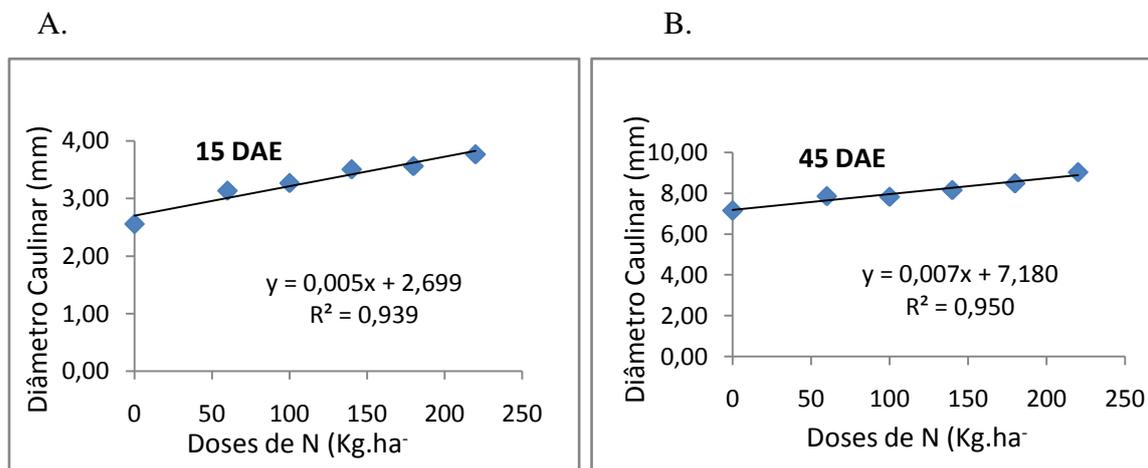
| Fonte de Variação | L | Quadrados Médios | | | | |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 1 5 DAE | 3 0 DAE | 4 5 DAE | 6 0 DAE | 7 5 DAE |
| Tipo de água (A) | | 0 ,152 ^{ns} | 8, 703 ^{ns} | 8 ,018 ^{**} | 5 ,460 ^{ns} | 9 ,363 ^{ns} |
| Doses de Nitrogênio (N) | | 1 ,089 ^{**} | 1 43,436 ^{ns} | 2 ,554 [*] | 3 ,407 ^{ns} | 4 ,716 ^{ns} |
| N x A | | 0 ,122 ^{ns} | 2 12.684 ^{ns} | 1 ,313 [*] | 1 ,274 ^{ns} | 1 ,536 ^{ns} |
| Regressão Linear | | 5 ,116 ^{**} | 5 7,986 ^{ns} | 1 0,932 ^{**} | 1 4,407 ^{**} | 1 9,886 ^{**} |
| Regressão Quadrática | | 0 ,235 ^{ns} | 1 71.954 ^{ns} | 0 ,388 ^{ns} | 0 ,252 ^{ns} | 0 ,303 ^{ns} |
| Regressão Cúbica | | 0 ,058 ^{ns} | 1 5,102 ^{ns} | 0 ,938 ^{ns} | 2 ,253 ^{ns} | 1 ,528 ^{ns} |
| Resíduo | 4 | 0 ,193 | 1 74,564 | 0 ,896 | 1 ,475 | 1 ,960 |
| Total | 5 | | | | | |
| CV (%) | | 1 3,31 | 1 36,89 | 1 1,80 | 1 5,07 | 1 6,59 |
| Doses de N (Kg.ha ⁻¹) | | Média dos diâmetros dos caules (mm) | | | | |
| 0 | | 2 | 5, | 7 | 6 | 7 |
| 60 | | 3 | 5, | 7 | 7 | 8 |
| 100 | | 3 | 6, | 7 | 8 | 8 |
| 140 | | 3 | 5, | 7 | 7 | 8 |
| 180 | | 3 | 6, | 8 | 8 | 9 |

| | 220 | 3 | 7, | 9 | 9 | 9 |
|---------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|---|
| Fonte de água | | | | | | |
| Água potável | 3 | 9, | 7 | 7 | 6 | |
| | ,233 a | 160 a | ,552 a | ,671 a | ,750 a | |
| Água residuária doméstica | 3 | 1 | 8 | 8 | 7 | |
| | ,363 a | 0,143 a | ,496 a | ,449 a | ,607 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

No que diz respeito às doses crescentes de nitrogênio aplicadas via composto de lixo pode-se observar, na Figura 7, que implicaram em um incremento linear no diâmetro da caule das plantas avaliadas aos 15 e 45 DAE.

Figura 8. Modelos de regressão para o diâmetro de plantas do girassol aos 15 e 45 DAE, irrigadas com dois tipos de água e doses crescentes de nitrogênio.



5.1.1.2 Número de folhas

Encontram-se na Tabela 7 as análises de variância e os valores médios referentes ao número de folhas da cultura do girassol em diferentes épocas de cultivo em função de doses de nitrogênio e duas qualidades de água (abastecimento e residuária doméstica).

Observa-se na respectiva tabela que houve efeito significativo 5% de probabilidade aos 15 e 30 DAE, e aos 45 DAE ocorreu efeito significativo a 1% de probabilidade na aplicação das doses de nitrogênio no girassol.

No que se refere as médias dos números de folhas das plantas avaliadas nas diferentes épocas, observa-se, na Tabela 7, que todas as plantas irrigadas com água residuária doméstica tratada obtiveram número de folhas ligeiramente superior as plantas irrigadas com água potável. Resultados parecidos foram obtidos por Santos et al. (2003), também cultivando girassol utilizando dois tipos de água, não encontraram efeito significativo. Porém observaram ligeira vantagem em número de folhas para as plantas irrigadas com água de abastecimento quando comparadas às irrigadas com água residuária.

| Fonte de Variação | de G L | Quadrados Médios | | | | |
|--|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| | | 15 DAE | 30 DAE | 45 DAE | 60 DAE | 75 DAE |
| Tipo de água (A) | 1 | 0,230 ⁿ _s | 0,694 ⁿ _s | 0,859 ⁿ _s | 0,694 ⁿ _s | 0,111 ^{ns} |
| Doses de Nitrogênio (N) | 5 | 4,310 [*] | 13,16 ^{1*} | 19,44 ^{6**} | 5,250 ⁿ _s | 4,111 ^{ns} |
| N x A | 5 | 1,200 ⁿ _s | 1,427 ⁿ _s | 2,776 ⁿ _s | 15,61 ^{1^{ns}} | 9,778 ^{**} |
| Regressão Linear | 1 | 13,08 ^{6**} | 56,02 ^{1**} | 65,99 ^{0**} | 11,13 ^{8^{ns}} | 11,138 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | 1 | 5,116 ⁿ _s | 1,656 ⁿ _s | 18,07 ^{4*} | 1,710 ⁿ _s | 1,710 ^{ns} |
| Regressão Cúbica | 1 | 1,804 ⁿ _s | 1,009 ⁿ _s | 2,961 ⁿ _s | 3,170 ⁿ _s | 3,170 ^{ns} |
| Resíduo Total | 24 35 | 2,546 | 3,316 | 2,614 | 3,242 | 2,664 |
| CV (%) | | 21,52 | 15,42 | 10,99 | 12,35 | 13,86 |
| Doses de N (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| 0 | | 3,500 | 9,500 | 11,26 | 13,50 | 12,500 |
| 60 | | 5,000 | 10,66 | 15,00 | 14,33 | 12,667 |
| 100 | | 5,833 | 12,66 | 15,00 | 14,33 | 11,833 |
| 140 | | 5,167 | 11,83 | 14,83 | 14,50 | 11,667 |
| 180 | | 5,500 | 12,66 | 16,50 | 16,33 | 11,667 |
| 220 | | 5,667 | 13,50 | 15,66 | 14,50 | 10,333 |
| Fonte de água | | | | | | |

| | | | | | | |
|-----------------|------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Água potável | 3,333 a | 11,66 7 a | 14,55 6 a | 14,00 0 a | 12,000 a | Tabela |
| Água residuária | 3,366 a | 11,94 4 a | 14,86 4 a | 15,00 0 a | 13,000 a | |

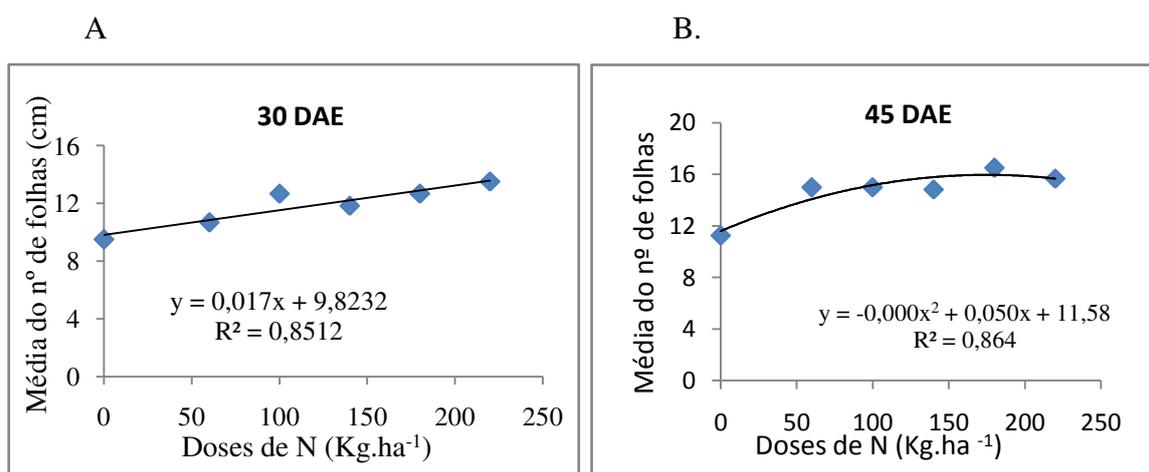
7. Resumos da análise de variância referente ao desdobramento da variável número de folhas das plantas de girassol irrigadas com residuária doméstica tratada

*, ** 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

Como pode ser observado na Figura 9, houve efeito significativo para as doses de N aplicadas aos 30 e 45DAE, verificando-se resposta linear, com média do número de folhas de 13,5 e 15,7 para a maior dose estudada (220 Kg.ha⁻¹), respectivamente. Fagundes et al. (2007) avaliando doses de nitrogênio na cultura do girassol ornamental observaram que o aumento da dose de N resultou num aumento no número final de folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Andrade (2011), trabalhando com girassol colorido, *Helianthus annuus L.* var. Sol Noturno, com doses de esterco bovino e irrigado com água residuária para a variável número de folhas. Já Silva et al. (2010), trabalhando com acultura do gergelim adubada com doses crescentes de esterco bovino, concluíram que as doses crescentes de esterco para esta cultura influenciaram no aumento da produção vegetativa.

Com relação a dose de N aplicada de 180 kg.ha⁻¹, observou-se uma resposta quadrática aumentando a média do número de folhas até 16,5. Biscaro et al. (2008), analisando a adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado, indicaram que o número de folhas por planta foi influenciado pelo nitrogênio aplicado em cobertura, acompanhando o crescimento da planta, com emissão de folhas até a planta atingir seu crescimento máximo.

Figura 9. Média do número de folhas do Girassol variedade Embrapa 122/V-2000 em função de doses crescentes de nitrogênio.



5.2 Componentes da produção

5.2.1 Produção de massa seca

Encontra-se na Tabela 8, o resumo da análise de variância para os dados de massa seca da parte aérea (caule + ramos + folhas) das plantas do girassol, 122/V 2000, obtidas ao final do ciclo da cultura.

Analisando os dados da referida Tabela, percebe-se que a qualidade de água influenciou a produção de massa seca da parte aérea, a 5% de probabilidade. Já a variação das doses de nitrogênio não exerceu efeito significativo para a variável analisada.

Guedes Filho et al. (2011) constataram, averiguando o efeito do nitrogênio disponível e níveis de água do solo no crescimento e no rendimento de componentes de girassol (cv. Embrapa 122 / V-2000), doses de N e os níveis de água no solo influenciaram todas as variáveis correspondentes a produção de fitomassa seca das plantas de girassol cultivadas em Neossolo.

Tabela 8.Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável massa seca das plantas de girassol para a água potável e residuária doméstica tratada

| Fonte de Variação | L | Quadrados Médios |
|------------------------|---|---------------------------|
| | | Massa seca da parte aérea |
| Tipo de água (A) | | 26,694* |
| Dose de Nitrogênio (N) | | 9,516 ^{ns} |
| A x N | | 1,428 ^{ns} |
| Regressão Linear | | 36,747 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | | 2,727 ^{ns} |
| Regressão Cúbica | | 3,461 ^{ns} |
| Resíduo | 4 | 3,878 |
| Total | 5 | |
| CV (%) | | 29,92 |

| Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹) | Médias das massas secas(g vaso ⁻¹) |
|--|--|
| 0 | 5,167 |
| 60 | 6,000 |
| 100 | 6,000 |

| | |
|----------------------|---------|
| 140 | 7,000 |
| 180 | 6,500 |
| 220 | 8,833 |
| Fonte de água | |
| Água potável | 4,667 a |
| Água residuária | 5,667 a |

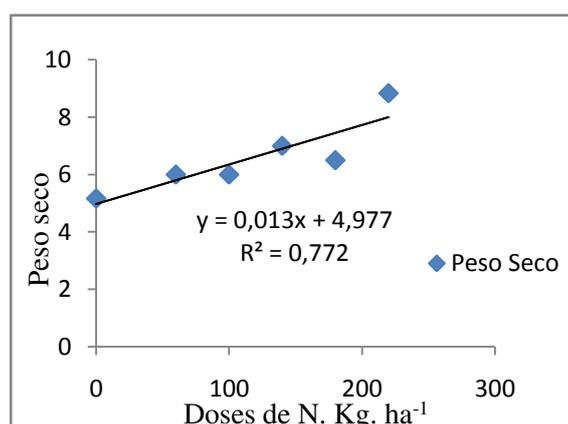
*, **, ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

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).

Nota-se que a irrigação com água residuária doméstica proporcionou diferença significativa na quantidade de massa seca produzida pelas plantas de girassol. Proporcionando um incremento de aproximadamente 2 g de matéria seca por planta.

Conforme a Figura 10, constatou-se a relação proporcional das doses de nitrogênio com o peso seco das plantas, com a mesma tendência de crescimento. O acúmulo máximo estimado da fitomassa seca da parte aérea apresentou um acréscimo de 0,0138 g vaso⁻¹ a cada incremento de 40 kg de N ha⁻¹. 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 10. Peso seco das plantas de girassol, em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária doméstica tratada.



5.2.1 Diâmetros interno e externo de capítulos

Na Tabela 9, encontram-se o resumo da análise de variância e valores médios do diâmetro de interno e externo das plantas de girassol, em resposta à irrigação com diferentes águas (potável e residuária doméstica tratada) e aplicação de diferentes doses de nitrogênio.

Tabela 9. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento das variáveis diâmetro interno e externo das flores de plantas de girassol para a água potável e residuária doméstica tratada.

| Fonte de Variação | GL | Quadrados Médios | |
|---|--------|--|-----------------------|
| | | Diâmetro Interno | Diâmetro Externo |
| Tipo de água (A) | 1 | 2,45 ^{ns} | 12,01 ^{ns} |
| Dose de Nitrogênio (N) | 5 | 10,94 ^{**} | 35,07 ^{**} |
| A x N | 5 | 1,16 ^{ns} | 2,08 ^{ns} |
| Regressão Linear | 1 | 49,302 ^{ns} | 158,471 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | 1 | 0,006 ^{ns} | 2,691 ^{ns} |
| Regressão Cúbica | 1 | 1,554 ^{ns} | 8,572 ^{ns} |
| Resíduo | 24 | 39,48 | 82,94 |
| Total | 35 | | |
| CV (%) | | 21,72 | 12,88 |
| Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹) | | Médias dos diâmetros de capítulos | |
| 0 | 4 | 10,46 | |
| 60 | 4,83 | 13,16 | |
| 100 | 6,3 | 15,21 | |
| 140 | 6 | 14,61 | |
| 180 | 6,41 | 15,58 | |
| 220 | 7,88 | 17,58 | |
| Fonte de água | | | |
| Água potável | 5,64 a | 13,86 a | |
| Água residuária | 6,16 a | 15,01 a | |

*, **, ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Nota-se na referida tabela que as doses de Nitrogênio adicionada via composto de lixo influenciaram significativamente as variáveis analisadas a 1% de probabilidade. Resultados que estão de acordo com Ivanoff et al. (2010) ressaltam que um manejo adequado da adubação nitrogenada pode proporcionar incrementos da ordem de 16% no diâmetro médio dos capítulos. Já em relação a qualidade de água e a interação doses versus água, não apresentou efeito significativo. Medeiros et al. (2007) não observaram efeito significativo para a variável diâmetro de capítulo no que se refere às qualidades de água utilizadas no experimento com gérberas.

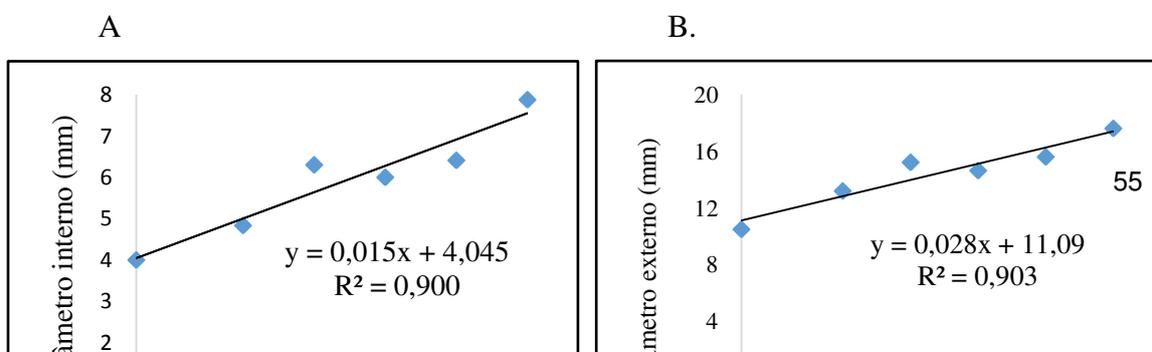
De acordo com SABBAGH (2008), a padronização de diâmetro de capítulo para girassóis no mercado da floricultura de Curitiba, é caracterizada pelos tamanhos pequeno (menor que 6 cm), médio (entre 6 e 9 cm) e grande (maior que 9 cm), assim nesta pesquisa as médias de diâmetro de capítulo interno podem ser classificadas entre pequeno e médio, e as de diâmetro externo como grande, e se encontram no padrão comercial.

Quando se refere a qualidade de água utilizada na irrigação, observa-se que as plantas irrigadas com água residuária doméstica tratada obtiveram médias de diâmetro de capítulo tanto o externo como o interno, maiores que as plantas irrigadas com água de abastecimento.

Figueiredo et al. (2007) que verificaram valores médios superiores no diâmetro do capítulo do girassol no tratamento que recebeu dose mais elevada de lodo de esgoto, da ordem de 30,4 t ha⁻¹. Ainda segundo esses autores, a adubação com lodo de esgoto aumentou a disponibilidade de nitrogênio para a cultura do girassol, influenciando o crescimento do capítulo da planta.

O diâmetro do capítulo é uma das características morfológicas mais afetadas pela adição de nitrogênio, evidenciando aumentos com doses pequenas (25 kg ha⁻¹ de N) (SAMENI et al., 1976). Isto significa que a adubação nitrogenada é muito importante para o girassol porém não é necessária alta quantidade de nitrogênio para proporcionar bom crescimento do diâmetro do capítulo (BISCARO et al., 2008).

Figura 11. Diâmetro interno das flores de girassol, em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária doméstica tratada



No que diz respeito às doses crescentes de nitrogênio aplicadas via composto de lixo pode-se observar, na Figura 11 A e 11 B, uma resposta linear no diâmetro do externo e interno do capítulo das flores de girassol. Sendo, um aumento de 0,0286 e 0,0159 mm com o incremento de 40 kg ha^{-1} de nitrogênio adicionado via composto orgânico, respectivamente.

5.2.1 Número de Pétalas

Na Tabela 10, encontram-se o resumo da análise de variância referente ao desdobramento do variável número de pétalas das plantas de girassol, em diferentes épocas, em resposta à irrigação com água residuária tratada e aplicação de diferentes doses de nitrogênio.

Nota-se que a irrigação com água residuária doméstica tratada não proporcionou diferença significativa para a variável analisada, no entanto as doses de nitrogênio influenciaram significativamente a 1% de probabilidade. Os resultados encontrados corroboram com Andrade (2011), que avaliando a influência de água residuária tratada e de abastecimento em diferentes variedades de girassol, também observou efeito significativo ao nível de 1% para o número de pétalas.

Vale ressaltar que existe um número minúsculo de pesquisas voltadas para atributos de flores e que as poucas já executadas não dão a importância devida para esta variável de tão grande valor estético portanto Andrade et al. (2012) estudando a variável número de pétalas, em girassol BRS OÁSIS não obtiveram resultados expressivos e significativos que os diferenciavam entre os tratamentos, nem de doses de adubação com cama de galinha, nem para as qualidades diferentes de água testadas.

Com relação a água utilizada na irrigação, nota-se que as plantas irrigadas com água residuária doméstica obtiveram médias de número de pétalas, maiores que as plantas irrigadas com água de abastecimento.

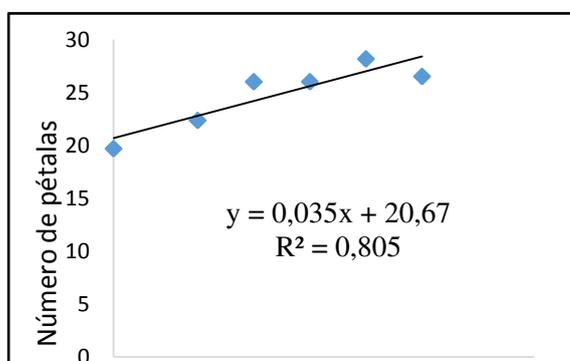
Souza et al. (2010), avaliando a utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol, em experimento desenvolvido em casa de vegetação, observaram resultados semelhantes para o número de pétalas encontrado neste estudo.

Tabela 10. Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável número de pétalas das plantas de girassol para a água potável e residuária doméstica tratada

| Fonte de Variação | L | Quadrados Médios Número de Pétalas |
|---|---|---------------------------------------|
| Tipo de água (A) | | 36,00 ^{ns} |
| Dose de Nitrogênio (N) | | 59,44 ^{**} |
| A x N | | 17,80 ^{ns} |
| Regressão Linear | | 239,286 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | | 37,352 ^{ns} |
| Regressão Cúbica | | 7,710 ^{ns} |
| Resíduo | 4 | 422 |
| Total | 5 | |
| CV (%) | | 16,92 |
| Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹) | | Médias do Número de Pétalas |
| 0 | | 19,66 |
| 60 | | 22,33 |
| 100 | | 26 |
| 140 | | 26 |
| 180 | | 28,16 |
| 220 | | 26,5 |
| Fonte de água | | |
| Água potável | | 23,77 a |
| Água residuária doméstica | | 25,77 a |

*, **, ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Em cada coluna médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Figura 12. Número de pétalas das flores de girassol, em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária doméstica tratada



O comportamento do número de pétalas observado na Figura 12, para as flores das plantas de girassol, ajustou-se melhor o modelo linear, com boa correlação dos dados pelo valor do R^2 , superior a 80%.

5.1 Fitorremediação

5.1.1 Concentração de zinco (Zn), cobre (Cu) e níquel (Ni) nas plantas (parte aérea + raíz)

O resumo da análise de variância obtido para as concentrações de zinco, cobre e níquel na parte aérea (caule + folhas) e nas raízes das plantas de girassol, se encontra na Tabela 11.

A análise de variância indicou diferenças significativas, 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 aos elementos cobre e níquel, observa-se que as doses de nitrogênio também exerceram efeito significativo a 1% de probabilidade sobre a concentração deste elemento na parte aérea da cultura.

A análise da Tabela 11 permite constatar que as concentrações de zinco, cobre e níquel determinadas nas raízes do girassol não sofreram influência significativa em relação qualidade de água utilizada. No entanto no que se refere as doses de nitrogênio para a raiz nota-se influência significativa a 1% de probabilidade para as variáveis zinco e cobre, não ocorrendo significância para o níquel.

De modo geral, na Tabela 11, percebe-se que o acúmulo de zinco foi maior na parte aérea que nas raízes das plantas do girassol, devido a sua mobilidade. Alguns autores consideram o Zn altamente móvel, outros lhe atribuem mobilidade intermediária, sendo facilmente absorvido pelas raízes e translocado para a parte aérea das plantas. Chaves et al. (2010), também constataram, trabalhando com plantas de pinhão-manso que a absorção de zinco foi maior na parte aérea que nas raízes. O mesmo comportamento foi encontrado por Lopes (2013), trabalhando com mamona variedade BRS-Paraguaçu.

Com bases nesses resultados, percebe-se que a extração do zinco pelas plantas de girassol ocorreu principalmente através do acúmulo na parte aérea. O mesmo não ocorre com os outros metais, que de forma geral, tiveram o maior acúmulo nas raízes, indicando a capacidade de absorção e, principalmente, a não translocação deste elemento das raízes para a parte aérea. De acordo com Antosiewicz (1992), plantas que apresentam maior teor do cobre nas raízes, comportam-se como plantas indicadoras. Fato também evidenciado por Girotto et al (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. A matéria orgânica possui a capacidade de absorver Ni e torná-lo imóvel. Este elemento também é influenciado pelo pH do solo, pois com sua elevação há menor disponibilidade do metal (Berton, 1992).

Tabela 11. Resumo da análise de variância da quantidade acumulada de Zn, Cu e Ni no girassol (parte aérea + raiz) em função da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada

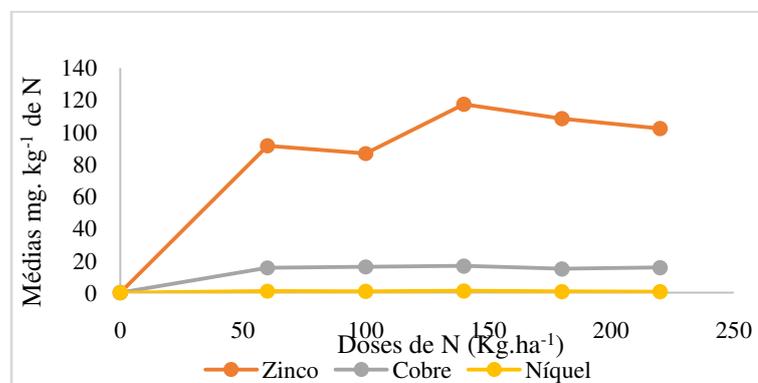
| Fonte de variação | GL | Quadrados Médios | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | | Parte aérea | | | Raiz | | |
| | | Zinco | Cobre | Níquel | Zinco | Cobre | Níquel |
| Qualidade de água (A) | 1 | 4539,390* | 347,077 ^{ns} | 0,100 ^{ns} | 681,123 ^{ns} | 38,667 ^{ns} | 14,339 ^{ns} |
| Dose de Nitrogênio (N) | 4 | 10969,123** | 248,392** | 0,827** | 11829,0** | 551,689** | 18,569 ^{ns} |
| A x N | 4 | 506,431 ^{ns} | 22,265 ^{ns} | 0,0529 ^{ns} | 577,989 ^{ns} | 8,631 ^{ns} | 14,610 ^{ns} |
| Regressão Linear | 1 | 33918,948** | 0,399 ^{ns} | 0,830 ^{ns} | 36277,920** | 10,371** | 1,579 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | 1 | 17252,210** | 1,864* | 2,662** | 207,340** | 0,680 ^{ns} | 36,895 ^{ns} |
| Regressão cúbica | 1 | 957,079 ^{ns} | 0,001 ^{ns} | 0,218 ^{ns} | 571,735 ^{ns} | 0,107 ^{ns} | 15,395 ^{ns} |
| Resíduo | 20 | 877,668 | 28,71 | 0,084 | 498,23 | 0,658 | 12,226 |
| Total | 29 | | | | | | |
| CV (%) | | 35,15 | 40,99 | 42,83 | 25,43 | 24,61 | 43,95 |
| Doses de Nitrogênio (kg ha-1) | Médias (mg kg-1) | | | | | | |
| | Parte aérea | | | Raiz | | | |
| | Zinco | Cobre | Níquel | Zinco | Cobre | Níquel | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 60 | 91,458 | 15,487 | 0,902 | 91,857 | 22,18 | 2,022 | |
| 100 | 86,575 | 16,046 | 0,803 | 95,968 | 20,678 | 2,262 | |
| 140 | 117,27 | 16,587 | 1,078 | 119,473 | 26,083 | 1,5 | |
| 180 | 108,233 | 14,713 | 0,66 | 116,67 | 24,448 | 1,28 | |
| 220 | 102,138 | 15,6 | 0,623 | 102,67 | 21,465 | 1,727 | |
| Fonte de água | | | | | | | |
| Água potável | | 73,050 a | 12,060 a | 0,731 a | 83,424 a | 18,107 a | 1,987 a |
| Água residuária doméstica tratada | | 95,508 b | 18,913 a | 0,625 a | 92,124 a | 20,179 a | 2,057 a |

*, **, ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Em cada coluna médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Segundo Santos (2012) o acúmulo de metais pesados no tecido vegetal é dependente da espécie e de outros 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 pelas plantas de girassol.

Observa-se na Figura 13, os teores de Zinco, Cobre e Níquel quantificados na parte aérea as plantas de girassol, em função das doses de nitrogênio. O girassol foi mais eficiente na absorção de Zinco, quando comparado com os outros metais avaliados, independente da dose de nitrogênio aplicada. Provavelmente isso ocorreu devido ao zinco ser um cátion muito versátil e possuir grande habilidade em interagir com os componentes minerais e orgânicos do solo.

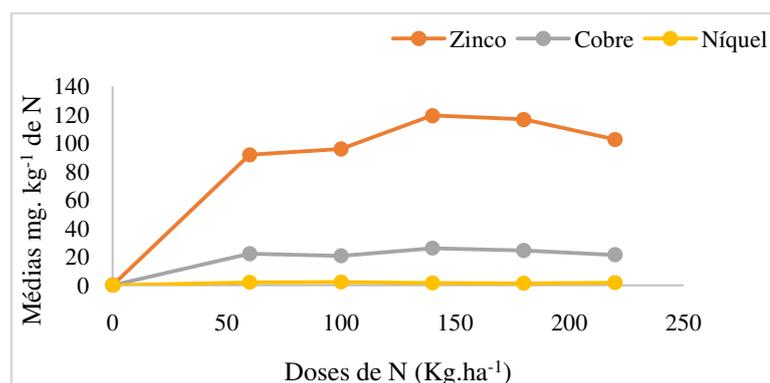
Figura 13. Quantidade acumulada de Zinco, Cobre e Níquel na parte aérea das plantas de girassol, em função das doses de nitrogênio



Na Figura 14, apresentam – se as quantidades de Zinco, Cobre e Níquel acumuladas nas raízes das plantas de girassol, em função das doses de nitrogênio, aplicadas via composto de resíduo sólido urbano. Nota-se que o Zinco foi o metal que teve a maior acumulação nas raízes. Possivelmente devido ser o metal em maior quantidade no composto orgânico utilizado. MAGALHÃES et al., (2008) avaliando duas espécies de eucalipto, em diversas proporções de solo contaminado com escória de múltiplos metais, verificaram que as duas espécies acumularam maiores concentrações de Zn nas raízes; MARQUES et al., (2000) compararam o poder extrator de 20 espécies

arbóreas, cultivadas em solo argiloso misturado em diferentes proporções com substratos contaminados com metais pesados, e encontraram maiores teores de Zn acumulados nas raízes do cedro em todos os tratamentos.

Figura 14. Quantidade acumulada de Zinco, Cobre e Níquel nas raízes das plantas de girassol, em função das doses de nitrogênio



5.1.2 Variáveis fitoextratoras

5.1.2.1 Índice de translocação e coeficientes de fitoextração dos metais

O resumo das análises de variância obtido para os índices de translocação e coeficientes de fitoextração para os metais zinco, cobre e níquel, se encontram na Tabela 12.

Para analisar o potencial do girassol em extrair zinco, cobre e níquel do solo adubado com composto de resíduo orgânico, utilizou-se o índice de translocação, que indica a quantidade de metal acumulado pelo girassol na parte aérea que é diretamente proporcional ao transcolado. Em relação as doses de nitrogênio os metais avaliados apresentaram diferença significativa a nível de 1% de probabilidade.

Na Tabela 12, se constata que a equação que melhor apresentou o comportamento de coeficiente de fitoextração do zinco, cobre e níquel foi a quadrática, com correlação significativa a 1% de probabilidade para os dados.

Ao comparar os três metais (zinco, cobre e níquel) nota-se que o girassol foi mais eficiente na translocação do níquel. Já para o coeficiente de fitoextração a dose de 60 kg.ha⁻¹ proporcionou melhor coeficiente para todos os metais.

Chaves et al. (2009) constataram, trabalhando em casa de vegetação com plantas de mamona aplicando cinco doses de cobre (0; 25; 50; 75 e 100 mg kg⁻¹) e quatro doses de zinco (0; 50; 100; 150 e 200 mg kg⁻¹), que a translocação do zinco foi maior que a do cobre porém confirmaram que, nas condições do estudo, a mamona não se enquadra na definição de planta hiperacumuladora, mas pode ser acumuladora de zinco. Da mesma forma, Santos (2012), trabalhando com plantas de algodão e doses de nitrogênio aplicadas via composto de lixo, verificou que, a translocação de zinco foi maior que a de cobre na referida cultura, fato também constatado na presente pesquisa.

Tabela 12. Resumo das análises de variância para o índice de translocação e coeficiente de fitoextração para os metais zinco, cobre e níquel, em função do tipo de água de irrigação

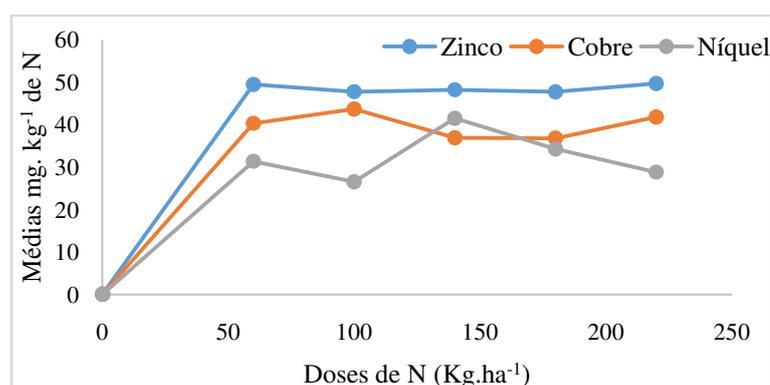
| Fonte de variação | GL | Quadrados Médios | | | | | |
|---|----|----------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|
| | | Índice de Translocação (%) | | | Coeficiente de fitoextração(%) | | |
| | | Zinco | Cobre | Níquel | Zinco | Cobre | Níquel |
| Qualidade de água (A) | 1 | 52,224 ^{ns} | 438,344 ^{ns} | 42,445 ^{ns} | 0,053 ^{ns} | 0,0730 ^{ns} | 0,002 ^{ns} |
| Dose de Nitrogênio (D) | 4 | 2368,938 ^{**} | 1636,767 ^{**} | 1217,240 ^{**} | 0,262 ^{**} | 0309 ^{**} | 0,031 ^{**} |
| A x D | 4 | 24,304 ^{ns} | 42,144 ^{ns} | 28,630 ^{ns} | 0,009 ^{ns} | 0,0155 ^{ns} | 0,001 ^{ns} |
| Regressão Linear | 1 | 6007,913 ^{**} | 3754,670 ^{**} | 2814,28 ^{**} | 0,0001 ^{ns} | 0,0766 ^{**} | 0,003 ^{ns} |
| Regressão Quadrática | 1 | 4127,148 ^{**} | 2835,823 ^{**} | 2577,31 ^{**} | 0,717 ^{**} | 0,387 ^{**} | 0,079 ^{**} |
| Regressão cúbica | 1 | 1494,274 ^{**} | 1557,730 ^{**} | 29,064 ^{ns} | 0,398 ^{**} | 0,694 ^{**} | 0,055 ^{**} |
| Resíduo | 20 | 49,306 | 48,927 | 123,571 | 0,008 | 0,00578 | 0,001 |
| Total | 29 | | | | | | |
| CV (%) | | 17,33 | 21,03 | 41,06 | 31,47 | 38,55 | 33,6 |
| Médias dos índices de translocação e dos coeficientes de fitoextração | | | | | | | |
| Doses de Nitrogênio(kg ha ⁻¹) | | Zinco | Cobre | Níquel | Zinco | Cobre | Níquel |
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | | 49,528 | 40,333 | 31,365 | 0,63 | 0,64 | 0,205 |
| 100 | | 47,808 | 43,692 | 26,513 | 0,36 | 0,201 | 0,113 |
| 140 | | 48,268 | 36,917 | 41,492 | 0,345 | 0,148 | 0,097 |
| 180 | | 47,778 | 36,808 | 34,273 | 0,248 | 0,103 | 0,05 |
| 220 | | 49,753 | 41,8 | 28,788 | 0,192 | 0,09 | 0,042 |
| Fonte de água | | | | | | | |
| Água potável | | 45,930 a | 37,840 a | 28,158 a | 0,105 a | 0,257 a | 0,092 a |
| Água residuária doméstica tratada | | 48,857 a | 42,827 a | 25,986 a | 0,112 a | 0,334 a | 0,077 a |

*, **, ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Em cada coluna médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Com relação ao coeficiente de fitoextração que é a relação entre as concentrações de metais encontrados na parte aérea da planta sobre a concentração de metais no solo, não apresentaram efeitos significativos para os elementos zinco, cobre e níquel, quando a fonte de variação foi a qualidade de água. Já no que se refere as doses de nitrogênio observou-se efeito significativo a 1% de probabilidade para os elementos avaliados.

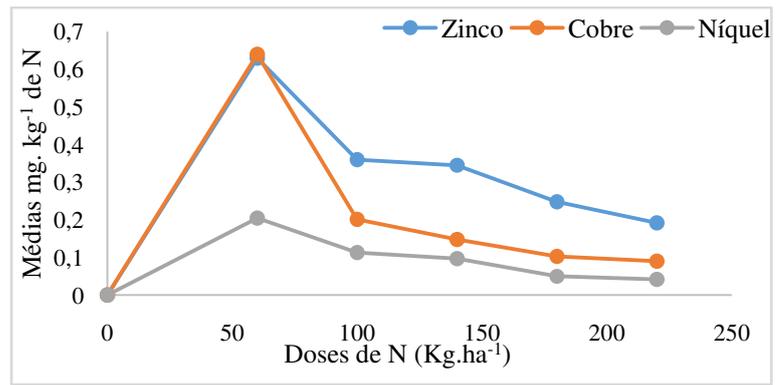
Na Figura 15, encontra-se a variação das médias observadas para o índice de translocação para o Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Níquel (Ni), em função das doses de nitrogênio. Desse modo, podemos afirmar que o girassol obteve maior a eficiência em transportar o elemento Zn da raiz para a parte aérea.

Figura 15. Índice de Translocação (IT) para a cultura do girassol, em função das doses de nitrogênio



Na Figura 16, encontra-se a variação das médias observadas do coeficiente de Fitoextração para o Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Níquel (Ni), em função das doses de nitrogênio. Sabendo que, quanto maior o coeficiente, maior a extração de contaminantes pela planta, pode-se afirmar que, o Zinco foi o metal mais absorvido.

Figura 16. Coeficiente de Fitoextração(CF) para a cultura do girassol, em função das doses de nitrogênio



6 CONCLUSÕES

A dose de nitrogênio equivalente a 180 kg ha^{-1} de composto orgânico, foi a que proporcionou melhores resultados para o crescimento do girassol.

A retenção do zinco e níquel nos tecidos vegetais (raízes, caule e folhas) das plantas do girassol, indicou que esta planta possui boa capacidade de bioacumular os referidos elementos.

As análises nos tecidos da parte aérea e raízes das plantas do girassol indicaram que o zinco foi translocado em maior quantidade.

As médias de diâmetro de capítulo interno podem ser classificadas entre pequeno e médio, e as de diâmetro externo como grande, e se encontram no padrão comercial.

A água residuária elevou a absorção pela cultura do girassol, dos metais zinco, cobre e níquel oriundos do composto orgânico.

De maneira geral, a irrigação com água residuária doméstica tratada e a adubação com composto orgânico acarretaram em efeito positivo no crescimento e na produção do girassol 122/V 2000.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Junior C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, 4:391-470, 2005.

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. Volume 1, p. 299-351.

ADRIANO, D. C., Elements in the Terrestrial Environment. **Springer Verlag**. 1986.

ALDERFASI, A. A. Agronomic and economic impacts of reuse secondary treated wastewater in irrigation under arid and semi-arid regions. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.5, n.3, p.369-374, 2009.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 297p. FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, 56. 1998.

ALLOWAY, B. J. The origins of heavy metals in soil. In: ALLOWAY, B. J (ed.). Heavy metals in soils. 2ed. London: **Blackie Academic**, p. 38 – 57, 1995.a

ALLOWAY, B.J. Soil pollution and land contamination. In: HARRISON, R.M. Pollution: causes, effects and control. 3.ed. Cambridge: **The Royal Society of Chemistry**, 1996.

ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. Chemical principles of environmental pollution. 2.ed. London: Chapman & Hall, 1997.

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, J. C. M.; TAVARES, S. R. L. & MAHLER, C. F., Fitorremediação, o uso de plantas na melhoria ambiental. São Paulo: **Oficina de Textos**. 176pp. 2007.

ANDRADE, J.C.M; TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C.F. Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

ANDRADE, L. O. de. Produção Agroecológica de Flores de Girassol Colorido irrigado com água residuária tratada. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2011. 251p.

ANDRADE, L. O. de. Produção Agroecológica de Flores de Girassol Colorido irrigado com água residuária tratada. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 251p. 2011.

ANDRADE, L. O. et al. Crescimento de girassóis ornamental em sistema de produção orgânica e irrigada com água residuária tratada. **Irriga**. Botucatu, SP, Edição Especial, v. 1, n.1, p. 69-82, 2012.

ANSELMO, A.L.F.; JONES, C.M. Fitorremediação de solos contaminados, Porto Alegre, 2005. **XXV Encontro Nacional de Engenharia e produção** Porto Alegre, RS. Rio Grande do Sul 2005 ENGEP p 5253 -5280.

ANTOSIEWICZ, D. M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, Poland, v. 61, n. 2, p. 281-299, 1992.

ANZECC/ARMCANZ - Australian Guidelines for Water Quality Monitoring and Reporting. October, 2000. In: <http://www.ea.gov.au/water/quality/nwqms/#monitor>. Acesso em 20/01/2015.

ARMSTRONG, J. V.; "Competitive Nonlinear Pricing and Bundling," Economics Series Working Papers 281, University of Oxford, Department of Economics. 2006.

AUGUSTO, D. C. C., GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng. (Capixingui) e *Copaifera langsdorfii*. Desf. (Copaíba). **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.335-342, 2003.

AZEVEDO, M. R. Q. A.; KONING, A.M.; BELTRÃO, N.E.M; AZEVEDO, C.A.; TAVARES, T.L.; SOARES, F.A.L. Efeito da irrigação com água residuária tratada

sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 02, n. 01, p. 63-68, 2007.

BABU, B. R.; PARANDE, A. K.; BASHA, C. A. Electricalandelectronicwaste: a global environmental problem. *Waste Management & Research*, v.25, p.307-318, 2007.

BACCAN, N. Metais Pesados: Significado e Uso da Terminologia. In: ANAIS IX **Encontro Nacional Sobre Contaminantes Inorgânicos**, IPEN, São Paulo, 2004.

BAIRD, C. *Environental Chemistry*. 2.ed. New York: W.H. **Freedman&Company**, 2001.

BARCELÓ, J; Poschenrieder, Ch. Respuestas de las plantas a lacontaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, v. 2, p. 345-361, 1992.

BEEKMAN, G. B. Qualidade e conservação da água. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 1996, Brasília. **Conferência...Brasília: Associação Brasileira das Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural**, 1996.

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S. Potencial agrícola do composto de lixo urbano no estado de São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 43, n.1, p. 87-94, 1991.

BERTON, R.S. Fertilizantes e poluição. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 20. 1992, Piracicaba.

BEZERRA, B. G.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, CE, v. 40, n. 3, p. 339-345, 2009.

BISCARO G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. DA S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. DE. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS, **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1366-1373, 2008.

BREGA FILHO, D. & MANCUSO, P. C. S. 2002. Conceito de Reúso da Água. In: Reúso de Água; Capítulo 2. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos.

Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental** – ABES. São Paulo. 2002.

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.

CALDERONI, S. Os bilhões perdidos no lixo. 4.ed. São Paulo: Humanitas. FFLCH/USP, 2003. 346p

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 214-220, 2006.

CHAVES, L. H. G.; CUNHA, T. H. C. S.; BARROS JÚNIOR, G.; LACERDA, R. D. DE; DANTAS JÚNIOR, E. E. Zinco e cobre em pinhão manso. 1. Crescimento inicial da cultura. **Revista Caatinga**, v.22, p.94-99, 2009.

CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P.; Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **RevistaCiênciaAgronômica**, v. 41, n. 2, p. 167-176, abr-jun, 2010.

CLEMENTE, R.; BERNAL, M.P. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere*, v.64, p.1264–1273, 2006.

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 >. Acessoem: 15 Jan. 2015.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 357, 2005, 23p.

COSTA, F. X.; LIMA, V. L. A. de; BELTRÃO N. E. de M.; AZEVEDO, C. A. V. de, SOARES, F. A. L. & ALVA L. D. M. de; Efeitos residuais da aplicação de biossólidos

e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.13, n. 6, p. 687-693, 2009.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. DE M; LIMA, V. L. A. DE; JUNIOR, E.S.N; DAMACENO, F.A.V; MADEIROS, L.B.; GUIMARÃES, M. M. B.; LUCENA, A. M. A. DE; TRESENA, N. L.; Crescimento da mamoneira submetido a adubação com lixo orgânico e torta de mamona. In: **III Congresso de Mamona Energia e Ricinoquímica**, 2008.

COSTA, F.X. Efeito residual do biossólido e da água residuária no ambiente edáfico e no cultivo do milho. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola**, Universidade Federal de Campina Grande, 2004, 83p.

CRUVINEL, D. F. C.; Avaliação da fitorremediação em solos submetidos à contaminação com metais. 79 F. (2009). Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental), Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, São Paulo, 2009.

DINARDI, A.L.; FORMAGI,V.M.; CONEGLIAN,C.M.R.;BRITO, N.N.; DRAGONI SOBRINHO,G.; TONSO,S; PELEGRINI,R. Fitorremediação, , Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP, Campinas, 2003. **3º fórum de estudos contábeis**. Faculdade integrada Claretiana, Rio Claro, São Paulo.

DOMINGUES, T. C. de G. Teor de metais pesados em solo contaminado com resíduo de sucata metálica, em função de sua acidificação. 2009. 75p. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade de Campinas, Campinas.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. CROP water requeriment. Rome: FAO, 144p. (**FAO Irrigation and Drainage Paper 24**). 1977.

ELLIOTT, H. A.; LIBERATI, M. R.; HUANG, C. P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 15, n. 3, p. 214- 217, 1986.

FAGUNDES, J.D.; SANTIAGO, G.; MELLO, A.M.; BELLÉ, R.A.; STRECK, N.A. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus*L.): fontes e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 987-993, 2007.

FAO. 2011 (forthcoming). World Census of Agriculture: analysis and international comparison of the results (1996-2005). FAO Statistical Development Series No. 13. (Columns 3 and 4). Rome.

FERNANDES, V. M. C. Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. In: **Simpósio Nacional sobre o uso da água na agricultura**, Passo Fundo, 2006

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. M.; KONIG, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nirogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 01/03, p. 893-902, 2005.

FIGUEIREDO, G. R. G.; SILVA, L. A. da . Vigor do girassol (*Helianthus annuus L.*) sob diferentes qualidades de água. **Educação Agrícola Superior**, v. 23, p. 58-60, 2008.

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.

FURLAN JÚNIOR, J.; MÜLLER, C. H.; CARVALHO, J. E. U. DE.; TEIXEIRA, L.B.; DUTRA, S. Composto orgânico de lixo urbano na formação de mudas de açaizeiro. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2p. **Comunicado Técnico**, 87. 2003.

GALBIATTI, J. A.; CAVALCANTE, Í. H. L.; RIBEIRO, A. G.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. Fertilização e qualidade da água de irrigação no crescimento e desenvolvimento da alface. **Scientia Agraria**, v.8, n.2, p.185-192, 2007.

GALBIATTI, J.A.; LUI, J.J.; SABORANO, D.Z.; BUENO, L.F.; SILVA, V.L. Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.445-455, 2007.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 229 – 236, 2001.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; RENAN VIEIRA, C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, 2010.

GOMES, C. N.; CARVALHO, S. P.; JESUS, A. M. S.; CUSTÓDIO, T. N. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1121-1130, 2007.

GUEDES FILHO, D. H.; CHAVES, L. H. G.; CAMPOS, V. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; OLIVEIRA, J. T. L. Production of sunflower and biomass depending on available soil water and nitrogen levels. *Iranica Journal of Energy & Environment*, v. 2, n. 4, p. 313-319, 2011.

GUIDOLIN, J. C. Reuso de efluentes. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, **Ministério do Meio Ambiente**, 2000.

Hammer, M. J., Hammer Jr, M.J (1996). *Water and Wasterwater Tecnology*. 3^a edition. Pretence hall. 519p.

HARGREAVES, J. C.; ADL, M. S.; WARMAN, P. R. A review of the use of composted municipal waste in agriculture. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 123, p. 1-14, 2008.

HILLERT, M. ICME (INTERNATIONAL COUNCIL ON METALS AND THE ENVIRONMENT). Newsletter, Vol. 5, No. 4. Ottawa, Canada. 1997. In: http://www.icmm.com/industry_questdetail.php?rcd=4. Acesso em 16/12/2014.

IBRAFLOR – Instituto Brasileiro de Floricultura. **Plano estratégico para as exportações de flores e plantas ornamentais do Brasil** – Relatório final. Janeiro. 2005.

IVANOFF, M. E. A.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; SMIDERLE, O. J.; SEDIYAMA, T. **Formas de aplicação de nitrogênio em três cultivares de girassol na savana de Roraima**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 3, p. 319-325, 2010.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C.A., **Tratamento de esgoto doméstico**. 4 edições. Rio de Janeiro, 932p. 2005.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 1992.

KHAN JR, P. H.; SEVERSON, R. L.; RUCKERT, J. H. **The Human Relation with nature and technological nature**. A journal of the association for psychological Science. Vol. 18, num. 1, 2009.

KHAN, A.G.; KUEK, C.; CHAUDHRY, T.M.; KHOO, C.S.; HAYES, N.J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, v.41, p. 197 – 207, 2000.

KRÄMER, U. Phytoremediation: Novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion Biotechnol.*, 16:1-9, 2005.

LAMEGO, F.P; VIDAL, R.A Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 9-18 jan./dez. 2007.

LASAT, M.M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, v.2, 25 p., 2000.

LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A.; CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A.C. B. Indicações para o cultivo do girassol nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. Série Comunicado Técnico, n. 78, 4p. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SOFIATTI, V.; GHEYI, H. R.; JÚNIOR, G. S. C.; ARRIEL, N. H. C. Crescimento e nutrição de mudas de pinhão manso em substrato contendo composto de lixo orgânico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 167-172, jul.-set., 2011.

LIMA, V. L. A. de, Reúso de Água para Irrigação em Zonas Áridas. In: Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Regiões Áridas e Semi-áridas. UFRB, Cap 6 p. 145-162. 2009.

LIMA, V. L. A.; MEIRA FILHO, A. S.; FURTADO, D. A. Água na Agricultura. In: LIMA, Vera Lúcia Antunes; CHAVES, Lúcia Helena Garófalo. Qualidade da Água: Leis, qualidades, Recomendações. 1ª ed. Campina Grande, PB; **Gráfica Agenda**, 2008

LIMA, V. L. A.; V.; MIRANDA, R. J.A.; MONTENEGRO, A. A. A.; MELO, A. A.; NUNES, R. Uso agrícola de água residuária: Uma visão sócio-ambiental. In: Hans RajGheyi, Vital Pedro da Silva Paz, Salomão de Sousa Medeiros, Carlos de Oliveira Galvão. (Org.). Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. 1ªed.Campina Grande, PB e Cruz das: **INSA e UFRB**, v. 1, p. 130-153. 2012.

LOPES,P.V.L.;MARTINS,M.C.;TAMAI,M.A.;OLIVEIRA,A.C.B.DE.;CARVALHO,C.G. P.DE. Produtividade de genótipos de girassol em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 4p. **Comunicado Técnico**, 208.

LOPES, R. M. B. P. da. Cultivo da mamona e seu potencial fitorremediador sob adubação nitrogenada e irrigação com água residuária. Campina Grande: UFCG, 2013. 01p. **Tese de Doutorado**.

MAGALHÃES, M. O. L.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; Mazur, N. Uso de resíduos industriais na remediação de solo contaminado com cádmio e zinco. Revista Ciência Florestal. v. 21, p.219-227, 2008.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reuso de água**. In: Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. Barueri: Editora Manole, 2007. 37-97p.

MARQUES, T.C.L.S.M.; MOREIRA, A.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.121-132, 2000.

MAZZUCO, K.T.M.; Uso Da Canavalia Ensiformis Como Fitorremediador. de solos contaminados por chumbo. 187f. 2008. **Dissertação**, Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.

MCBRIDE, M.B.. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York. 1994

MCGRATH, S.P., and P.W. Lane. An explanation for the apparent losses of metals in a long-term field experiment with sewage sludge. *Environ. Pollut.* 60:235-256. 1995.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, F.A.L.; GHEYI, H.R.; FERNANDES, P.D. Uso de água residuária de origem urbana no cultivo de gerbera: efeito nos componentes de produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.27, n.2, p.569-578, 2007.

MORENO, F. N. ; ANDERSON, C. W. N. ; ROBINSON, B. H. ; SIGOLO, J. B. . Eco Gold: gerando retorno econômico na remediação de passivos ambientais pela fitoextração. In: IV Seminário Internacional sobre remediação e revitalização de áreas contaminadas Internacional sobre remediação e revitalização de áreas contaminadas. São Paulo. **Boletim de Trabalhos**, 2007. v. 1. p. 6-7. 2007.

MORGAN, K.T.; WHEATON, T.A.; PARSONS, L.R.; CASTLE, W.S. Effects of reclaimed municipal waste water on horticultural characteristics, fruit quality, and soil and leaf mineral concentration of citrus. **HortScience**, Alexandria. v.43, p. 459-464, 2008.

MORGAN, K.T.; WHEATON, T.A.; PARSONS, L.R.; CASTLE, W.S. Effects of reclaimed municipal wastewater on horticultural characteristics, fruit quality, and soil and leaf mineral concentration of citrus. **HortScience**, Alexandria. v.43, p. 459-464, 2008.

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.

NASCIMENTO, C.W.A & XING, B. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. **Sci. Agric.**, 63:299-311, 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 CI. 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. **MineralsEngineering**, v.13, n.5, p. 549 – 561, 2000.

OLIVEIRA, C. M., DUPUIS, J., CHAYER, P., & MOOS, H. W. Variations in D/H and D/O from New Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Observations, *ApJ*, 625, 232. 2005.

ORDONEZ A.A. El cultivo del girasol, Ediciones Mundi - **Prensas -Madrid**, p 29 – 69. 1990.

PAIS, I.; JONES JR., J.R. The Handbook of Trace Elements. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2000.

PEDRAZZOLI, C. D. Remediação eletrocinética de chumbo em resíduos industriais. **Dissertação**, Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2004.

PEREIRA, B. F. Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo. Instituto Agrônomico 68 p 2005.

PEREIRA, B.F.F.; ABREU, C.A.; ROMEIRO, S.; LAGOA, A.M.M.A.; Paz Gonzáles, A. Pb-phytoextraction by maize in a Pb-EDTA treated soil. *Scientia Agricola* 64: 52-60, 2007.

PILON-SMITS, E., Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, pp.15-39. 2005.

PINHO, F.; VASCONCELOS, A. K. P.; MARINHO, G. Diagnóstico do reúso no nordeste brasileiro, In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Fortaleza, CE, 2008.

PORTO, W. S. et al. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.491-499, 2007.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1991. 343p.

RASKIN, I.; ENSLEY, B. Phytoremediation of toxic metals - using plants to clean up the environment. **Plan Science**, v. 160, p. 1073 – 1075, 2000.

REBOLL, V. et al. Influence of wastewater vs groundwater on young citrus trees. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Chichester, v. 80, p. 1441–1446, 2002.

RUPPENTHAL, V.; CASTRO, A. M. C. Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de gladiolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.145-150, 2005.

SABBAGH, M. C. Redução de Porte de Girassol ornamental Pela Aplicação de Reguladores Vegetais. Curitiba. **Dissertação** (Mestrado referente ao Programa de pós-graduação em agronomia)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2008.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; GUEDES FILHO, D. H.; DIAS, N. DA S.; SOARES, F. A. L. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.842-849, 2011.

SANTOS, C. G. F.; VAN HAANDEL, A.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; MOREIRA, E. A. Efeito do uso de lodo e água residuária tratada sobre a cultura do girassol (*Helianthus Annuus L.*). In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Joinville - Santa Catarina, II – 152, 2003.

SANTOS, J. S.; Cultivo do Algodoeiro Irrigado sob Adubação Orgânica Nitrogenada – Potencial Fitorremediador. Campina Grande, PB. UFCG, 2012. 80p. **Tese de Doutorado**.

SANTOS, W.S.; ALMEIDA, F.A.C.; BELTRÃO, N.E.M.; SILVA, A.S. Estatística experimental aplicada. Campina Grande: UFCG, 213p. 2003.

SCHNOOR, J.L. Phytoremediation of soil and groundwater: Technology evaluation report TE-02-01. Iowa: GWRTAC GroundWaterRemediation Technologies Analysis Center, 2002.

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, **Circular Técnica**. 2002.

SILVA, Héli da Karla Philippini da Silva. (2010). Avaliação das Concentrações de Metais Traço e Suas Interações nos Sedimentos e Biota do Parque dos Manguezais, Região Metropolitana do Recife (RMR) – Pernambuco, Brasil. Recife: UFPE, 2010. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, M. L.O. e.; FARIAS, M.A.F.de.; MORAIS, A.R. De; ANDRADE, G.P.; LIMA, E.M.C.

De Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafracom diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.11, n.5, p.482–488, 2007.

SILVA, T. T. S.; FILHO, J. G. A. F.; LOPES, R. M. B. P.; NASCIMENTO, N. V.; FARIAS, M. S. S.; MONTEIRO, D. R.; Efeito da adubação orgânica sobre o crescimento do girassol irrigado com água residuária. **IV Winotec – Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**. Fortaleza, 2012.

SOUZA, J.A.R.; MOREIRA, D.A.; COELHO, D.F. Crescimento e desenvolvimento de SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 277p. 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: reações de carboxilação. In: **Fisiologia Vegetal**. Tradução: Eliane Romanato Santarém, [et al.]. 4.ed. Porto Alegre: Artmed. 2009. p.182-219.

TEIXEIRA, L.B.; GERMANO, V.L.C.; OLIVEIRA, R.F. DE; FURLAN JUNIOR, J. Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano em leira estática com ventilação natural. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003 . 7p. (Embrapa Amazônia Oriental. **Circular Técnica**, 33).

Tomateiro fertirrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Ambiente & Água**. v. 5, n. 2, p. 144-157, 2010.

UNGARO, M.R.G. Instruções para a cultura do girassol. Campinas: IAC, 26p. (**Boletim Técnico** 105). 1986.

VANDERMEER, J. H. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, 1989.

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.

VIEIRA, C. N. Identificação de áreas contaminadas pela desativação de um empreendimento industrial. Estudo de caso curtume Dalbó em Criciúma SC. **Tese de graduação** (Engenharia Ambiental) Universidade do Extremo Sul. 2007.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts. **Technical report series N° 517**. Genebra, 1973.