



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS**  
**PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

**MARIA GABRIELLE SOUSA DE SANTANA**

**EFEITO DO REÚSO DE EFLUENTE DE ESGOTO SOBRE OS PARÂMETROS DE  
CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO SORGO**

**FORTALEZA**

**2015**

MARIA GABRIELLE SOUSA DE SANTANA

**EFEITO DO REÚSO DE EFLUENTE DE ESGOTO SOBRE OS PARÂMETROS DE  
CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DO SORGO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Solos.  
Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- S223e Santana, Maria Gabrielle Sousa de.  
Efeito do reuso de efluente de esgoto sobre os parâmetros de crescimento e nutrição do sorgo /  
Maria Gabrielle Sousa de Santana. – 2015.  
62 f. : il. color.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Departamento de Ciências do Solo, Pós-Graduação em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas,  
Fortaleza, 2015.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.
1. Sorgo. 2. Irrigação com águas residuais. 3. Água-reuso. I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida concedida, pelo exemplo de amor e pela fé que me fez romper barreiras e realizar os meus objetivos nos momentos mais difíceis da trajetória;

À minha família, pelo amor, apoio, compreensão e que sempre esteve disposta a me apoiar nas minhas decisões;

A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de concluir este curso.

Ao Prof. Francisco Marcus Lima Bezerra por ter me orientar durante todo o curso.

Aos Profs. Boarnerges Freire Aquino e Cleyanderson como conselheiros.

A Capes pelo financiamento da bolsa e do projeto.

Aos Professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola pela colaboração.

Aos funcionários da Estação de tratamento de esgoto da UFC – Campus do Pici, pela ajuda na execução do projeto de pesquisa.

Ao apoio dos membros do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas pelo apoio e estrutura cedida para realização das análises necessárias para conclusão da dissertação.

Ao meu companheiro e amigo Carlos Samuel dos Santos Oliveira por toda ajuda e dedicação.

Aos meus grandes amigos: Sâmia Paiva de Oliveira, Magnum de Sousa, Eder de Oliveira Santos.

Aos colegas de mestrado e doutorado, e funcionários do Departamento de Solos, pelo companheirismo.

## RESUMO

A reutilização de águas residuárias na irrigação apresenta incontáveis vantagens ecológicas e econômicas, dentre elas estão: a reciclagem dos nutrientes, redução da poluição, economia de fertilizantes e água. Portanto, o reúso de efluente doméstico se mostra como uma alternativa para regiões com déficit hídrico, principalmente em zonas urbanas e industriais. O sorgo é uma cultura relevante produzida pela agricultura familiar na região semiárida e usada na alimentação animal. Produzido em condições de sequeiro o uso da irrigação torna-se uma alternativa para estabilidade na produção. A pesquisa foi realizada na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. O efluente utilizado no estudo foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos do Campus do Pici (ETE-PICI) da Universidade Federal do Ceará (UFC), que recebe águas residuárias com características de esgoto doméstico. Foram utilizados 10 tratamentos em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições. Sendo: T1- Água de abastecimento sem adubação mineral; T2- Água de abastecimento com 25 % da adubação mineral recomendada; T3 - Água de abastecimento com 50% da adubação mineral recomendada T4- Água de abastecimento com 75% da adubação mineral recomendada; T5- Água de abastecimento com 100% da adubação mineral recomendada T6- Água de efluente sem adubação mineral; T7- Água de efluente com 25% da adubação mineral recomendada; T8- Água de efluente com 50% da adubação mineral recomendada; T9- Água de efluente com 75% da adubação mineral recomendada e T10- Água de efluente com 100% da adubação mineral recomendada. A altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas aos 20 dias não apresentaram variação em relação ao tipo de água aplicado. No entanto, as variáveis analisadas mostraram diferença significativa apenas quanto às doses de N, P e K aplicadas. As variáveis analisadas (Altura das plantas, número de folhas, área foliar, diâmetro do colmo) aos 40 dias após a semeadura obtiveram diferença significativa somente quanto às doses de N, P e K aplicadas. Os nutrientes P e S mostraram diferença significativa a 5% com relação a interação. Os nutrientes K e Ca obtiveram resultados significativos a 1% com relação as interação. Os teores de nitrogênio apresentaram diferença significativa a 5% de significância quanto às doses de N, P e K aplicadas, mas não se adequaram a nenhum modelo de regressão. O efluente de esgoto tratado pode ser utilizado na irrigação das culturas desde que de forma controlada e bem manejada.

Palavras-chave: Reúso, *Sorghum Bicolor L Moech*, irrigação.

## ABSTRACT

The wastewater reuse for irrigation crops has many ecological and economic advantages, for example: nutrients recycling, reducing pollution, fertilizer and water economy. Therefore, the reuse of wastewater is an alternative to regions with water deficit, especially in urban and industrial areas. Sorghum is an important crop produced by family farmers in the semiarid region and used in animal feed. Produced under rainfed conditions, the use of irrigation becomes an alternative to stability in production. The research was conducted in Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. The effluent used was collected in Estação de Tratamento de Esgotos do Campus do Pici (ETE-PICI) da Universidade Federal do Ceará (UFC), which receives wastewater with sewage characteristics. 10 treatments were used in a completely randomized design with 4 replications. Where: T1 supply water without chemical fertilizers; T2 supply water with 25% of recommended mineral fertilization; T3 supply water with 50% of recommended mineral fertilization; T4 supply water with 75% of recommended mineral fertilization; T5 supply water with 100% of recommended mineral fertilization T6- effluent water without chemical fertilizers; T7- effluent water with 25% of recommended mineral fertilization; T8 effluent water with 50% of recommended mineral fertilization; T9- effluent water with 75% of recommended mineral fertilizer and T10 effluent water with 100% of recommended mineral fertilization. The plant height, stem diameter, number of leaves at 20 days, showed no variation in type of water applied. However, the variables showed significant difference related to the doses of N, P and K. The variables analyzed (Plant height, number of leaves, leaf area, stem diameter) at 40 days after sowing, had significant difference only for the N levels, P and K. The nutrients P and S showed statistical differences in the interaction. The nutrients K and Ca obtained significant results at 1% over the interaction. The nitrogen contents showed a significant difference as the nitrogen rates, P and K, but did not fit any regression model. The treated sewage effluent can be used for irrigation of crops provided a controlled and well managed.

Keywords: Reuse, *Sorghum Bicolor L Moench* e irrigation

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Disposição dos vasos na área experimental no início e ao final do estudo, Fortaleza, CE, 2015..... 24
- Figura 2 – Curva de regressão para altura das plantas de sorgo em função do tipo de água e aplicação de doses de N, P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC Fortaleza, Ceará, 2015..... 30
- Figura 3 – Curva de regressão para número de folhas das plantas de sorgo em função do tipo de água aplicado e doses de N, P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015 ..... 31
- Figura 4 – Curva de regressão para diâmetro do colmo de Sorgo em função da aplicação de doses de N,P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza Ceará, 2015..... 31
- Figura 5 – Curva de regressão para área foliar do Sorgo em função da aplicação de doses de N,P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015..... 32
- Figura 6 – Curva de regressão para altura das plantas de Sorgo em função da aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará 2015..... 32
- Figura 7 – Valores médios de nitrogênio no tecido foliar das plantas de sorgo em função do tipo de água (abastecimento e reúso) aplicado aos 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, CE. 2015..... 34
- Figura 8 – Curva de regressão para teores de P no tecido foliar do Sorgo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N,P e K aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015..... 36
- Figura 9 – Curva de regressão para teores de K no tecido foliar do sorgo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015..... 38
- Figura 10 – Quantidade de cálcio no tecido vegetal de plantas de sorgo irrigadas con

água de abastecimento e reúso, 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza 2015.....	39
Figura 11 – Valores de magnésio no tecido vegetal das plantas de sorgo irrigadas com água de abastecimento e reúso, 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, 2015.....	40
Figura 12 – Curva de regressão para teores de P no solo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.....	41
Figura 13 – Curva de regressão para teores de K no solo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.....	42
Figura 14 – Curva de regressão para teores de Na no solo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Países e área cultivada irrigada com efluente tratado.....	17
Tabela 2 – Valores de referência ideais no tecido foliar das plantas de sorgo segundo Martinez et al., (1999), Fortaleza, CE, 2015.....	23
Tabela 3 – Resultado da análise física e química do solo utilizado no estudo, Fortaleza, CE, 2015.....	25
Tabela 4 – Quantidade e época de aplicação dos fertilizantes utilizados nos tratamentos estudados, Fortaleza, CE, 2015.....	25
Tabela 5 – Parâmetros analisados na água utilizada no experimento, Fortaleza, CE, 2015.....	26
Tabela 6 – Identificação dos tratamentos utilizados no experimento. Fortaleza, CE, 2015.....	27
Tabela 7 – Resumo da análise de variância para altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas das plantas de sorgo em função dos tipos e das doses de N, P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, CE, 2015.....	29
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas e área foliar das plantas de sorgo em função dos tipos e das doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, CE, 2015.....	29
Tabela 9 – Resumo da análise de variância dos macronutrientes no tecido foliar das plantas de sorgo em função dos tipos de água e das doses de N, P e K, aos 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, CE, 2015.....	34
Tabela 10 – Resumo da análise de variância dos nutrientes no solo cultivado com sorgo em função dos tipos de água e das doses de N, P e K, aos 40 DAS, UFC, Fortaleza, CE, 2015.....	40

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Escassez dos recursos hídricos .....	13
2.2 Poluição dos recursos hídricos.....	14
2.3 Tratamento de efluentes por lagoas de estabilização.....	15
2.4 Reúso de água agricultura.....	16
2.5 Aspectos sanitários e legislação do reúso de efluentes.....	20
2.7 Sorgo ( <i>Sorghum Bicolor L Moech</i> ).....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Área experimental.....	23
3.1.1 Localização da área experimental .....	24
3.1.2 Classificação climática.....	24
3.2 Características do sistema de tratamento de efluente existente.....	24
3.3 Instalação e condução da cultura.....	24
3.3.1 Semeadura das culturas.....	24
3.3.2 Solo.....	25
3.3.3 Adubação.....	25
3.3.4 Manejo da irrigação.....	26
3.3.5 Delineamento experimental.....	26
3.4 Amostragem.....	27
3.4.1 Amostragem de solo.....	27
3.4.2 Amostragem de planta.....	28
3.4.3 Altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas e área foliar.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Análise de crescimento.....	28
4.2 Análise nutricional da planta.....	33
4.2.1 Nitrogênio no tecido foliar.....	34
4.2.2. Fósforo no tecido foliar.....	35
4.2.3 Potássio no tecido foliar.....	37
4.2.4 Cálcio no tecido foliar.....	38
4.2.5 Magnésio no tecido foliar.....	39

4.3 Análise de solo.....	40
4.3.1 Fósforo no solo.....	41
4.3.2 Potássio no solo.....	42
4.3.3 Sódio no solo.....	43
5. CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional gera maiores exigências em relação à melhoria dos padrões de vida e avanços tecnológicos e tem como consequência o aumento na demanda por água para o uso doméstico, agrícola e industrial. Atentando que um consumo elevado de água produz um maior volume de esgoto, muitas vezes sem destino adequado o que compromete a qualidade dos recursos hídricos existentes.

O Brasil detém as maiores bacias hidrográficas do mundo, mas a maioria delas está localizada em regiões distantes das cidades, onde ocorre uma demanda por água de qualidade superior. Em regiões áridas e semiáridas como é o caso da maioria da região Nordeste que apresentam déficit hídrico e uma instabilidade climática faz-se necessário à otimização dos recursos hídricos existentes, recursos esses que se tornam cada vez mais escassos.

Consequentemente a utilização dos recursos de forma não consciente ocorre a redução na produtividade agrícola, o avanço nos processos de desertificação e uma degradação dos ecossistemas e uma fragilidade dos corpos hídricos, levando à necessidade de racionalidade no uso da água e dos recursos naturais, com base no conceito de sustentabilidade.

A reutilização de águas residuárias apresenta incontáveis vantagens ecológicas e econômicas, dentre elas estão: a reciclagem dos nutrientes, redução da poluição, economia de fertilizantes e água. Portanto, o reúso de efluente doméstico se mostra como uma alternativa para regiões com déficit hídrico, principalmente em zonas urbanas e industriais.

Dessa forma, existe a necessidade de conhecer a viabilidade do reúso do efluente doméstico, bem como seus impactos na produtividade das culturas, avaliando-o como potencial fonte de nutrientes para as culturas.

O sorgo é uma cultura relevante produzida pela agricultura familiar na região semiárida e usada na alimentação animal. Produzido em condições de sequeiro o uso da irrigação torna-se uma alternativa para estabilidade na produção.

Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito do reúso de água de efluente doméstico na nutrição do Sorgo (*Sorghum Bicolor L Moech*).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Escassez dos Recursos Hídricos

O aumento populacional, desenvolvimento dos centros urbanos, a melhoria nos padrões de vida e o desenvolvimento da tecnologia, estão aumentando a demanda por água não apenas para uso doméstico, mas também na agricultura e na indústria (AGRAFIOTI; DIAMADOPOULOS, 2012).

Segundo a FAO (2007), o consumo de água dobrou em relação ao crescimento populacional no último século e a irrigação para cultivos agrícolas atualmente responde por mais de dois terços de toda água retirada de lagos, rios e reservatórios subterrâneos.

Em muitas regiões do mundo a água doce não atende a crescente demanda por água, existindo assim a necessidade de encontrar alternativas para o uso consciente da água, considerando que o consumo elevado de água aumenta a volume de efluente gerado (QUADIR et al., 2010; MENESES et al., 2010). As organizações internacionais alertaram para o fato de que nos próximos 25 anos cerca de 2,8 bilhões de pessoas, poderão viver em regiões com extrema falta de água, inclusive para o próprio consumo (PAZ et al., 2000).

A redução na disponibilidade e acesso a água podem causar conflitos entre os usuários em diferentes escalas, com abrangência local e multinacional (BAZANNI et al., 2005; COOLEY et al., 2009).

A disputa por água para suprir o sistema de produção de alimentos pode se tornar crítico (STRZEPEK; BOEHLERT, 2010), e a distribuição da água é desafiada por crescentes pressões e limitações atuais, com o aumento da demanda para a gestão dos recursos hídricos integrada e adaptativa (ENGLE et al., 2011; PAHL-WOSTL et al., 2007). Segundo Moraes e Jordão (2002), há uma previsão de grande crise da água no ano de 2020, causando preocupações na comunidade científica de diversas áreas em torno do mundo, o que causará um caos hídrico gerando outros sérios problemas, dentre eles os de saúde pública.

De acordo com Rebouças (2003), o Brasil é um dos países mais abundantes em água doce no mundo e isso é devido uma ampla variedade climática, a sua caracterização geográfica, a extensão territorial, a altitude, ao relevo e a dinâmica das massas de ar. Conseqüentemente, recebe uma enorme pluviosidade anual que varia

entre 1.000 mm e mais 3.000 mm, sobre mais de 90% do seu território. Apesar disso, os recursos hídricos são escassos, devido a diversos fatores dentre eles: o desperdício, mau gerenciamento, urbanização, poluição e degradação ambiental.

Aparentemente o Brasil tem uma condição favorável, mas observa-se uma grande desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos. Quando comparada as situações com a abundância de água da Bacia Amazônica, que se contrapõe a problemas de escassez nas regiões Norte e Centro-Oeste, no Nordeste e conflitos de uso nas regiões Sul e Sudeste, a situação se agrava (PAZ et al., 2000). Considerando, em lugar de disponibilidade absoluta de recursos hídricos renováveis, aquela relativa à população dele dependente, o Brasil deixa de ser o primeiro e passa ao vigésimo terceiro no mundo (PROJETO ÁGUA, 1998).

A região do Nordeste brasileiro tem 58% do seu território localizado na região semiárida, caracterizada pelo fenômeno de secas periódicas (MAGALHÃES; CAMPOS, 1997). As chuvas ocorrem, em geral, entre os meses de fevereiro a abril, e os nove meses restantes do ano são submetidos a um déficit hídrico que se atenua no decorrer do período, em decorrência a elevados valores de temperatura e taxas de evapotranspiração, o que compromete o cultivo de sequeiro, principal atividade econômica da região (SOUSA et al., 2006).

Albinati et al. (2014) afirmam que o abandono e o desperdício de recursos tão preciosos quanto à água, principalmente em regiões carentes, como o Nordeste brasileiro, ultrapassa os limites da ignorância técnico-científica e suscita o desenvolvimento de um planejamento estratégico de segurança alimentar e a adoção de políticas que possibilitem o rápido desenvolvimento de tecnologia apropriada para o resgate destes recursos, gerando renda e melhoria da qualidade de vida de comunidades carentes do semi-árido brasileiro.

Diante do contexto do semiárido Nordestino, a produção agrícola sob irrigação é uma alternativa para um aumento na demanda por alimento, entretanto devido às elevadas perdas por evapotranspiração, é a atividade que mais consome água (PAZ et al., 2000). Em termos mundiais, a agricultura utiliza 69% da água disponível, a indústria consome 23% e as residências 8%. Em países em desenvolvimento, a utilização de água pela agricultura chega a atingir 80% (Banco Mundial, 1994).

## **2.2 Poluição dos recursos hídricos**

A agricultura urbana supre parcialmente a necessidade por alimento das grandes cidades dos países em desenvolvimento, sendo realizada por pequenos agricultores envolvidos na agricultura orientada para o mercado (DRECHSEL et al., 2006). Apesar de ser considerado como uma economia informal, a agricultura urbana gera significativa renda para a parte mais desfavorecidos da população (QADIR et al., 2010).

Merten e Minella (2002), afirmam que o comprometimento da qualidade da água para abastecimento doméstico é ocasionado de poluição causada por vários meios, tais como efluentes domésticos e industriais, deflúvio superficial urbano e agrícola. Os poluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais.

Segundo Fracaro (2005), o abastecimento urbano e industrial provoca poluição orgânica e bacteriológica, libera substâncias tóxicas e aumenta a temperatura do corpo d'água; a irrigação carrega agrotóxicos e fertilizantes; a navegação despeja óleos e combustíveis; o lançamento de esgotos causa poluição orgânica, física, química e bacteriológica.

### **2.3 Tratamento de Efluentes por Lagoas de Estabilização**

Em regiões mais carentes, com grandes extensões de terra e radiação solar abundante, os métodos de tratamento de efluente doméstico convencionais são baseados em tecnologias simples, como lagoas de estabilização. Os sistemas de estabilização convencionais consistem de uma fase de sedimentação, seguida de lagoas facultativas e lagoas de maturação (ORAGUI et al., 1987; SAQQAR; PESCOD, 1992).

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento extensos, que se mostraram eficientes principalmente nos países em desenvolvimento (EL HAMOURI et al., 1996; OUZZANI et al., 1995). São consideradas como um método eficaz para remoção de parasitas de água residuária, devido a longos tempos de retenção dos efluentes (AMAHID, 2001). Vários estudos demonstraram que estes sistemas quando bem projetados são eficazes na produção de efluente de boa qualidade (FINNEY; MIDDLEBROOKS, 1980; PEARSON, 1996; SAQQAR; PESCOD, 1996; SHELEF; AZOV, 1996).

Silva e Mara (1979) e Uehara e Vidal (1989) definiram lagoas de estabilização como grandes tanques de pequena profundidade por dique de terra,

destinadas a tratar água residuárias brutas, por processos puramente naturais. Atualmente esse conceito está mais abrangente e as lagoas de estabilização funcionam como biorreatores de águas lentas, relativamente rasas, tendo como objetivo armazenar resíduos domésticos ou indústrias de forma específica, resultando na estabilização da matéria orgânica devido aos processos biológicos.

As lagoas de estabilização são classificadas de acordo com a atividade metabólica predominante da degradação da matéria orgânica, a saber: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias.

A principal finalidade das lagoas anaeróbias é a remoção da DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), tendo eficiência na remoção de 50 a 70 % (VON SPERLING, 2000) e eficiência na suspensão de sólidos em torno de 70 % (ESPAÑA, 1991).

Já as lagoas facultativas têm como função a redução da DBO e remoção de patógenos. A estabilização da matéria orgânica ocorre nas zonas aeróbia, facultativa e anaeróbia, em que o oxigênio necessário é obtido através da fotossíntese das algas, produzindo-o durante o dia e consumindo-o a noite. Na zona fótica (parte superior da lagoa), a matéria orgânica é oxidada por microrganismos aeróbios, enquanto na zona afótica (parte inferior da lagoa) a matéria orgânica sedimentada se converte em gás carbônico, água e metano (SILVA FILHO, 2007).

Por sua vez, as lagoas de maturação removem patógenos e nutrientes, tendo como objetivo a desinfecção do efluente das lagoas de estabilização. Possuem uma profundidade menor, permitindo que os raios ultravioleta tenham uma ação eficiente sobre os microrganismos presentes na coluna de água.

Além da ação dos microrganismos, outros fatores influenciam na remoção de bactérias, vírus e outros microrganismos, sendo eles o pH elevado e elevada concentração de oxigênio dissolvido, a eficiência da remoção de patógenos é 99,9%, para estação de tratamento que contenham uma sequência de mais de três lagoas (SILVA FILHO, 2007).

## **2.4 Reúso de Água**

Em 1987 Lavrador Filho sugeriu a seguinte terminologia para reúso de água para ter com a finalidade de obter uma linguagem mais uniforme, sendo reúso o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma

atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (1973) tem-se que o reúso direto trata do uso planejado e deliberado de esgotos tratados, para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.

A irrigação com efluentes domésticos tratados pressupõe a observação dos seguintes aspectos (MOTA, 2003):

- Os tipos de culturas que serão irrigadas;
- A qualidade necessária para o efluente a ser utilizado, em função dos tipos de culturas a irrigar;
- O tratamento a ser aplicado ao esgoto, dependendo da qualidade desejada para o efluente;
- As técnicas de irrigação a serem utilizadas;
- As medidas de controle ambiental e saúde pública a serem adotadas.

Segundo Paiva et al. (2012), a irrigação é a atividade humana que mais consome água, e de acordo com a Constituição Brasileira, a prioridade para o uso dos recursos hídricos é o consumo humano, indústria e em seguida a irrigação. Dessa forma, torna-se relevante a importância da utilização de fontes alternativas de água para a irrigação, permitindo a realocação dos recursos hídricos utilizados para outros fins. Estima-se que uma economia de 10% da água utilizada na agricultura promova um incremento de 60% na oferta desse recurso para uso doméstico (PHILLIPI JR.; MALHEIROS, 2004).

Como fonte alternativa de água para a irrigação, a recuperação de águas residuais e reutilização (reciclagem de água), constituem uma prática crescente em áreas de déficit hídrico (ANGELAKIS et al., 1999; ORON, 2003). Essa prática, além de reduzir significativamente o uso de água de boa qualidade, também pode reduzir o volume de esgoto a ser descarregado para o meio ambiente (PEDRERO et al., 2010). A utilização de esgoto tratado para irrigação já é uma prática amplamente utilizada em vários países do mundo, podemos observar na tabela 1.

Tabela 1: Países e área cultivada irrigada com efluente tratado.

Países	Cultivo	Tratamento	Área irrigada (ha)
México	Hortaliças	Sistema Australiano	250.000
Peru	Algodão, uva, hortaliças	Lagoas facultativas, Lagoas facultativas e Maturação	4.300
EUA (Muskegon, Michigan, Lubbock, Texas)	Algodão, dentre outras.	Lagoa aerada e de maturação Tratamento primário, secundário e de desinfecção	14.000
Alemanha	Hortaliças	Tratamento primário, secundário e de desinfecção.	28.000
Israel	Vários	Lagoa anaeróbia, facultativa e maturação	10.000
Índia (Calcutá)	Vários	Lagoas	73.000
Austrália (Melbourne)	Forragens	Lagoas	10.000
Túnisia	Vários	Lagoas	7.350
Kuwait	Vários	Tratamento primário, secundário e desinfecção.	12.000
Sudão	Bosques	Tratamento primário e secundário.	2.800

Fonte: Adaptado de Bastos, 1999.

Bastos (1999) relaciona outros países que utilizam na irrigação de cultivos efluentes oriundos de ETEs, como por exemplo, Árabia Saudita, Argentina e Chile com uma área irrigada de 4.400, 3.700 e 16.000 ha, respectivamente.

Na Califórnia cerca de 894 milhões de toneladas de água de reúso foi reutilizado em 2009, sendo quatro vezes maior que em 1970. O montante anual de reutilização deve alcançar 1.540 milhões de toneladas em 2015 e 1.880 milhões de toneladas em 2020 (PLANEJAMENTO DE ÁGUA DA CALIFÓRNIA, 2009). Em Pequim, cerca de 680 milhões de toneladas de água foi reutilizada em 2010, o que corresponde a cerca de 20% do abastecimento de água de toda a cidade. Em 2015 o montante deverá ser mais de 1000 milhões de toneladas (CHANG; MA, 2012).

O potencial para a utilização de água de reúso é ilimitado, demonstrando que a recuperação e reutilização de águas residuais são capazes de resolver de forma eficaz os problemas dos recursos hídricos nessas regiões (CHEN et al., 2013).

A água de reúso, de maneira geral, contém dois nutrientes primários: o nitrogênio (N) e fósforo (P), além da maior parte dos micronutrientes necessários para as plantas: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mb), Boro (Bo), Níquel (Ni) e Cobalto (Co) em quantidades variáveis (LUBELLO et al., 2004 e QIAN; MECHAM, 2005). Sendo assim, quando irrigados com água de reúso, as condições nutricionais do solo podem ser melhoradas (CHEN et al., 2013).

Os efluentes secundários podem conter de 10 a 20 mg.L<sup>-1</sup> de N total (AKPONIKPÈ et al, 2011; LUBELLO et al., 2004; PEDRERO et al., 2010), enquanto que as proporções de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, e N orgânico do N total dependerá da extensão do tratamento a que o efluente é submetido (DUCAN et al., 2010). Além disso, as lavouras irrigadas com efluente a aplicação de P e N pode ser reduzida de 10 a 50 % (YI et al., 2011).

O reúso de água apresenta algumas vantagens dentre elas: assegura o uso sustentável de recursos hídricos; reduz a poluição dos mananciais; promove o uso racional de águas de boa qualidade; permite evitar a tendência de erosão do solo e reduz de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes; gera economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica; aumenta a produtividade agrícola e permite maximizar a infra-estrutura de abastecimento de água e tratamento de esgoto pela utilização múltipla de água aduziva (BERNARDI, 2003).

No entanto, alguns impactos negativos do reúso de efluentes são observados, dentre eles: salinização, sodicidade ou alcalinização do solo e alterações estruturais. Esses processos podem reduzir o rendimento das culturas (BIGGS; JIANG, 2009; SEBASTIAN et al, 2009). Além disso, o impacto físico-químico do uso de águas residuárias no solo, em regiões com déficit hídrico pode ser aumentado ou acelerado, pela alta demanda evapotranspirativa que torna os constituintes minerais concentrados, bem como outros contaminantes trazidos pela água de irrigação (LEAL et al., 2009; SANDRI et al., 2009; SEBASTIAN et al., 2009).

Santos (2004) afirmou que a sustentabilidade do uso de efluente de esgoto tratado em agrossistemas depende do manejo adequado da irrigação, monitoramento das características do solo, da solução do solo e da cultura. Além disso, o acréscimo de Na no solo torna-se um dos maiores desafios para o uso do efluente na irrigação dos

cultivos, mesmo em com a remoção deste elemento devido às precipitações que ocorrem nas regiões de clima tropical. No entanto, o acúmulo de Na pode ser controlado através de práticas agrícolas adequadas e estudos técnico-científicos. O autor afirma ainda que o aporte e a dinâmica do  $\text{Na}^+$  em solos irrigados com efluente está relacionada a concentração do elemento no efluente, a amplitude da absorção pelas plantas, da intensidade do processo de lixiviação, da permeabilidade do solo e da dinâmica de outros íons ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}^{3-}$  e  $\text{HCO}^{3-}$ ).

Nos efluentes de esgoto tratado, normalmente, as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são semelhantes às encontradas na água de irrigação, e com o aumento da concentração desses elementos abaixa os valores de RAS, melhorando, assim, a qualidade do efluente (FEIGIN et al., 1991). Além disso, a irrigação com efluente contribui significativamente para o aumento no teor de N, N-amoniaco, nitrato, K, Ca, Mg, Zn e S retidos na solução do solo (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2005).

Rego et al. (2005) no cultivo da melancia, afirmaram que a irrigação com efluentes tratados teve efeito semelhante à irrigação com água de poço mais adubação química, comprovando a possibilidade de utilização apenas de esgoto tratado sem adubação, reduzindo assim os custos com adubo e água do poço.

Bezerra (2000) trabalhando com sorgo no estado do Ceará observou uma diferenciação entre os resultados quando comparando a irrigação realizada com água proveniente de Estação de Tratamento de Efluente e da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) desde o estágio inicial, pois a água proveniente da ETE apresentou uma germinação mais rápida, uniforme e praticamente integral, também ficou evidente por ter obtido uma produção quantitativa e qualitativa acima da cultura testemunha.

Pesquisa realizada em Fortaleza, Ceará, determinou, para cultura de sorgo irrigada com efluente de estação de tratamento, com características de esgoto doméstico, teores de proteína iguais a 10,86% e 12,15%, no grão e na palha, respectivamente, enquanto que para o sorgo irrigado com água de poços esses teores foram de 10,09% e 10,82% (MOTA, 1980).

Ainda citando Bezerra (2000) em estudos com o cultivo do algodão no estado do Ceará foi observado além do aumento na produção e uma maturação mais rápida, os vegetais irrigados com efluente de E.T.E apresentaram cores verdes mais fortes, melhor crescimento, melhor número e crescimento dos ramos vegetativos e frutíferos e melhor quantidade de folhas e frutos. Quanto ao algodão irrigado com água da CAGECE apresentou uma redução na velocidade de floração e na duração de

floração, e na duração do florescimento mais intenso; Apareceram manchas, conferindo o aspecto de queima por fogo.

A água de efluente tratado pode ser reutilizada de maneira planejada para diversos fins, principalmente a irrigação. Além disso, o reúso de efluentes vem sendo utilizado amplamente em diversos países do mundo como método alternativo para tratamento de efluente oriundo dos centros urbanos. No entanto, as águas residuárias devem ser avaliadas quanto à salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação da qualidade agronômica.

## **2.5 Aspectos sanitários do reúso de efluente**

As características microbianas dos efluentes estão diretamente associadas ao grau de risco para a saúde pública, no caso da reutilização de águas residuais, pois existem vários microrganismos patogênicos que podem ser transmitidos através de esgoto.

Estudos epidemiológicos mostraram que a reutilização de efluente bruto para a irrigação, aumenta a prevalência de infecções parasitárias das populações expostas (AMAHMID, et al., 1999; BOUHOUM; SCHWARTZBROD, 1998; CIFUENTES, et al., 1992).

Geralmente as águas residuais são descarregadas com pouco ou nenhum tratamento nos corpos hídricos. Alguns países ainda aplicam efluente bruto ou parcialmente tratado, pois não existem regulamentos ou diretrizes que tratam a prática da reutilização de águas residuais (CARR, 2005).

Agricultores em áreas urbanas de quase todos os países em desenvolvimento que necessitam de água para irrigação, muitas vezes não têm outra escolha se não usar água de reúso, usando deliberadamente esgoto puro que fornece nutrientes e é mais viável e mais barato do que os outras fontes de água (KERAITA; DRECHSEL, 2004; SCOTT et al, 2004).

A maioria dos países tende a adotar as diretrizes da OMS (Organização Mundial da Saúde) (WHO, 1989) ou os conservadores Critérios de reciclagem da água da Califórnia (ESTADO DA CALIFÓRNIA, 2000) e adaptam a suas condições sociais, econômicas e ambientais (BRISAUD, 2008). Atualmente, para o saneamento de efluente, duas abordagens gerais são seguidas em todo mundo (WESTCOT, 1997), sendo a primeira de “risco zero”, que admite “a melhor tecnologia disponível”, e a

segunda a abordagem de “risco calculado”, que é baseada em informações epidemiológicas existentes e considera a irrigação uma fase de tratamento adicional. Assim, a OMS recomendou uma diretriz de 1.000 coliformes fecais (FCS) por 100 mL de irrigação irrestrita de todas as culturas, com especial ênfase na remoção de ovos de helmintos (não mais do que um ovo por litro) durante o tratamento de efluente (SHUVAL et al, 1986; OMS 1989).

No âmbito nacional a resolução 430/11 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Essa resolução trata na seção III, das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, o artigo 21 delimita as condições quanto a pH, temperatura, DBO, material sedimentável, material solúvel em hexano e ausência de material flutuante.

A resolução 357/05 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) trata da classificação das águas doces, salobras e salinas estabelecendo padrões e destinos recomendados.

Para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, como é o caso do pimentão e da pimenta de cheiro, devem ser utilizadas água doce ou salobra ambas com classe I. Para que a água seja pertencente à classe I ela deve atender as seguintes condições e padrões descritos na seção III, artigo 14, da resolução 357/05.

## **2.6 Sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*)**

O sorgo espécie pertencente à família das gramíneas, apresenta grande número de genótipos distribuídos nos grupos granífero, forrageiro e vassoura, todos classificados como *Sorghum bicolor L. Moench* (VIEIRA, 2006). Tem origem da Etiópia no continente africano o sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo depois do trigo, arroz, milho e cevada, sendo um dos principais alimentos para milhões de habitantes das regiões semiáridas da África, da Ásia e do Oriente Médio (FAO, 2010).

Segundo Giorda e Feresin (2002), atualmente no mundo produz-se aproximadamente 65 milhões de toneladas de grãos de sorgo oriundos de 46 milhões de hectares cultivadas, constituindo a dieta principal de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países

Apesar de todas as adversidades e falta de incentivo à cultura do sorgo, na safra 98/99 o Brasil plantou, segundo Mezzena (2003), 712 mil ha e colheu 1 milhão de toneladas (desse total, o sorgo granífero representava 558 mil ha e o sorgo forrageiro, 154 mil ha), sendo o Estado de Goiás atualmente o maior plantador de sorgo granífero, seguido por São Paulo e Mato Grosso do Sul. O Brasil, apesar de todos os fatores, pode ser ainda apontado entre os dez maiores produtores mundiais.

A região Sul, tradicionalmente produtora de sorgo, vem apresentando redução na área plantada e produção da ordem de 2,81% e 2,74% ao ano, respectivamente, o que significa uma redução aproximada de 80% no período. Em situação oposta encontrasse a região Centro-Oeste, que no mesmo período apresentou aumentos anuais da ordem de 2,24% em área plantada e 2,25% na produção, representando aumento aproximado da ordem de 70% para esses dois parâmetros. As regiões Sudeste e Nordeste apresentaram grandes variações na área plantada e produção, o que dificulta estimar se suas participações têm aumentado ou diminuído (COELHO et al., 2002).

Apesar da adaptação da planta do sorgo as condições do semiárido, a adequada adubação é fundamental para garantir bons rendimentos e o não empobrecimento do solo. Quanto aos micronutrientes, as deficiências de boro e zinco são as mais comuns, sendo sugerido nesses casos o fornecimento desses nutrientes (SFREDO et al., 1984), junto da adubação de plantio. Segundo Ritchey et al., (1986), o sorgo apresentou incrementos em produtividade após a aplicação de zinco ao solo com incrementos na produtividade.

Os teores foliares de macronutrientes considerados adequados para culturas produtivas de sorgo estão na tabela 2.

TABELA 2: Valores de referência ideais no tecido foliar das plantas de sorgo segundo Martinez et al., (1999).

Macronutrientes	Teor (g.kg <sup>-1</sup> )
Nitrogênio	23,1 - 29,0
Fósforo	4,4
Potássio	13,0 - 30,0
Cálcio	2,1 - 8,6
Magnésio	2,6 - 3,8
Enxofre	1,6 - 6,0

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

A pesquisa foi realizada na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, situada no município de Fortaleza (CE) com coordenadas de latitude 3° 44' S e na longitude 38° 33' W na altitude de 20 m. O clima é do tipo Aw<sup>i</sup>, segundo a classificação de Köppen, caracterizando-se como tropical chuvoso com precipitações de verão e temperatura do mês mais frio superior a 18 °C.

O regime hídrico é variável, pois há anos em que ocorrem chuvas excessivas e anos em que a precipitação é escassa, tendo períodos com estiagem prolongada. A distribuição da chuva é irregular, entretanto em torno de 90% das precipitações ocorrem no primeiro semestre, sendo em geral os meses de março a maio os mais chuvosos (ARAUJO, 1999).

#### 3.2 Características do sistema de tratamento

O efluente utilizado no estudo foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos do Campus do Pici (ETE-PICI) da Universidade Federal do Ceará (UFC), que segundo MOTA et al. (1997) recebe águas residuárias com características de esgoto doméstico.

O sistema de tratamento é do tipo lodo ativado com aeração prolongada, onde o esgoto bruto passa sequencialmente: pelo tanque de aeração, tanque de sedimentação, tanque de pré-cloração e tanque de cloração.

A água do efluente tratado foi coletada em recipientes com capacidade para armazenar 25 L e transportada a Estação Meteorológica da UFC, onde o cultivo das plantas foi implementado.

### 3.3 Implantação das culturas

#### 3.3.1 Semeadura das culturas

A semeadura foi realizada em ambiente protegido utilizando vasos plásticos com capacidade para 10 kg, sendo semeadas 4 sementes por vaso e após 15 dias após o desbaste foram mantidas duas plantas por cova. (Figura 1)

Foi aplicado o inseticida Kothrine C25, para combater a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), que estava danificando as folhas, na diluição de 30 mL do produto por 20 L de água.

FIGURA 1: Disposição dos vasos na área experimental no início e ao final do estudo.



O solo utilizado no experimento foi coletado no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal do Ceará, e classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura franca arenosa segundo análise de solo (EMBRAPA, 1999). As características físicas e químicas do solo são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado da análise física e química do solo utilizado no estudo, Fortaleza, CE, 2015.

Características químicas											
MO	N	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	P	pH
g. kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> . dm <sup>-3</sup>							%	mg. kg <sup>-1</sup>	
9,41	0,51	0,70	0,15	0,60	0,06	3,14	1,5	4,1	33	3	4,2

### 3.3.3 Adubação

As doses de adubação foram calculadas de acordo com a análise química do solo e nas exigências nutricionais da cultura, adequando as aplicações a necessidade existente no cultivo em vaso. A partir das recomendações de adubação procedeu-se a aplicação das doses de N, P e K nas seguintes proporções: 0, 25%, 50%, 75% e 100%, diluídas em 25 mL de água. As doses e o período de aplicação podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Quantidade e época de aplicação dos fertilizantes utilizados nos tratamentos estudados.

DOSAGEM (%)	Período de Aplicação					
	Após emergência	20 dias após o plantio	Plantio	Plantio	20 dias após o plantio	
	URÉIA (g)		SUPERFOSFATO SIMPLES (g)		CLORETO DE POTÁSSIO (g)	
0	0	0	0	0	0	0
25	0,55	0,55	1,5	0,207	0,207	
50	1,1	1,1	3	0,415	0,415	
75	1,65	1,65	4,5	0,622	0,622	
100	2,2	2,2	6	0,83	0,83	

Foi realizada a calagem utilizando 5 g de Calcário Dolomítico por vaso e para suprir as necessidades da cultura de micronutrientes, foram aplicados 3 gramas por vaso de FTE-BR 12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo).

### 3.3.4 Manejo da irrigação

A aplicação da água no experimento foi realizada através de regador manual, evitando erosão e a saturação do solo, a lâmina aplicada foi 85% da evaporação diária do tanque classe A, localizado na região do estudo.

As análises

TABELA 5: Parâmetros analisados na água e no efluente utilizados no experimento. Fortaleza, CE, 2015.

Parâmetro	Tipos de água	
	Abastecimento	Efluente
pH	8,1	7,7
Sódio (mg. L <sup>-1</sup> )	6,6	24,7
Cálcio (mg. L <sup>-1</sup> )	0,5	1,4
Magnésio (mg. L <sup>-1</sup> )	3,6	4,4
Potássio (mg. L <sup>-1</sup> )	0,26	0,63
HCO (g. L <sup>-1</sup> )		
Cloretos (mg. L <sup>-1</sup> )	4	5,2
DBO (mg.O <sub>2</sub> . L <sup>-1</sup> )	7,2	6,34
DQO (mg.O <sub>2</sub> . L <sup>-1</sup> )	46,2	45,1
Sólido total (mg. L <sup>-1</sup> )	238	328
Sólido solúvel total (mg. L <sup>-1</sup> )	39	44
Sólidos dissolvidos totais (mg. L <sup>-1</sup> )	254	284
Coliformes totais (NMP. mL <sup>-1</sup> )	-	2,1.10 <sup>-5</sup>
E. colli (OVOS. L <sup>-1</sup> )	-	-

### 3.3.5 Delineamento experimental

Os dados foram inicialmente testados para normalidade e homogeneidade de variâncias, usando o software Sisvar.

Em seguida, foram submetidos a análise de variância, considerando o delineamento inteiramente casualizado em quatro repetições e as médias para cada variável avaliadas sendo comparadas entre si pelo teste Tukey, a um nível de 5% de probabilidade de erro.

A Tabela 6 abaixo mostra os tratamentos definidos, combinando qualidade de água e níveis de adubação, para o estudo.

TABELA 6: Identificação dos tratamentos utilizados no experimento. Fortaleza – CE, 2015.

Tratamentos	Descrição
T1	Água de abastecimento sem adubação mineral
T2	Água de abastecimento com 25 % da adubação mineral recomendada
T3	Água de abastecimento com 50% da adubação mineral recomendada
T4	Água de abastecimento com 75% da adubação mineral recomendada
T5	Água de abastecimento com 100% da adubação mineral recomendada
T6	Água de efluente sem adubação mineral
T7	Água de efluente com 25% da adubação mineral recomendada
T8	Água de efluente com 50% da adubação mineral recomendada
T9	Água de efluente com 75% da adubação mineral recomendada
T10	Água de efluente com 100% da adubação mineral recomendada

## 3.4 Amostragem

### 3.4.1 Amostragem do solo

Foram avaliados os teores de P, K e Na do solo de todos os vasos no início e ao final do ciclo da cultura.

### **3.4.2 Amostragem de Plantas**

A folha amostrada para realização das análises foi a do início do perfilhamento (mediana) (MALAVOLTA, 1992).

O material coletado foi seco em estufa de circulação fechada de ar a 65°C, até obter peso constante. Posteriormente foram moídas em moinho do tipo Willey. Os teores de N foram determinados em soluções obtidas de extratos preparados por digestão sulfúrica pelo método micro-Kjeldahl, (TEDESCO et al., 1995). Os teores de K e Na foram determinados através de fotometria de chama, os teores de P por fotolorimetria (MALAVOLTA et al., 1992).

### **3.4.3 Altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas e área foliar.**

A altura da planta foi mensurada aos 20 e 40 dias após a semeadura (DAS) da região do colo até a inserção da folha mais nova por intermédio de régua em centímetro (cm), o diâmetro do colo do pseudocaule foi medido com o auxílio de um paquímetro digital em milímetros (mm). O número de folhas ativas foi obtido pela contagem do número emitido pela planta.

A área foliar foi determinada utilizando as 5 folhas mais jovens de cada planta e o cálculo feito por intermédio do LI-3100 que é um medidor de área foliar que funciona em tempo real, ou seja, a área é retornada no momento em que a folha passa pelo sensor. Seu visor apresenta medidas de no mínimo 1 mm<sup>2</sup>, resolução de até 0,1 mm<sup>2</sup>, e apresenta uma precisão de  $\pm 2,0\%$  para a resolução 1 mm<sup>2</sup> e  $\pm 1,0\%$  para a resolução 0,1 mm<sup>2</sup>. É um aparelho integrador de área, cuja teoria operacional baseia-se na simulação de células de grade, de área conhecida, na superfície foliar (LI-COR, 1996).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Os resultados da análise de variância para as características de crescimento avaliadas: altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas, área foliar das plantas sorgo em função das doses de N, P e K aos 20 e 40 dias após a semeadura estão apresentados na Tabela 7 e 8, respectivamente.

TABELA 7: Resumo da análise de variância para altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas das plantas de sorgo em função dos tipos e das doses de N, P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, CE. 2015.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Altura	Diâmetro do Colmo	Número de Folhas
		(cm)	(mm)	-
Tipos de água (A)	1	2,025 <sup>ns</sup>	2,740 <sup>ns</sup>	0,756 <sup>ns</sup>
Doses de NPK (B)	4	189,134 <sup>**</sup>	2,208 <sup>**</sup>	2,250 <sup>**</sup>
A x B	4	6,446 <sup>ns</sup>	0,056 <sup>ns</sup>	0,163 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	12,258	0,727	0,779
cv(%)	-	18,28	17,49	19,27

Tabela 8: Resumo da análise de variância para altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas e área foliar das plantas de sorgo em função dos tipos e das doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, CE. 2015.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Altura	Diâmetro do Colmo	Número de Folhas	Área Foliar
		(cm)	(mm)	-	(mm <sup>2</sup> )
Tipos de água(A)	1	24,806 <sup>ns</sup>	0,073 <sup>ns</sup>	0,900 <sup>ns</sup>	32499,692 <sup>ns</sup>
Doses de NPK (B)	4	2520,478**	49,664**	3,181**	2600257,435**
A x B	4	110,850 <sup>ns</sup>	7,245 <sup>ns</sup>	0,775 <sup>ns</sup>	148455,754 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	91,260	4,706	0,441	66878,022
cv(%)	-	12,46	16,18	12,14	15,81

A altura das plantas, diâmetro do colmo, número de folhas aos 20 dias não apresentaram variação em relação ao tipo de água aplicado. No entanto, as variáveis analisadas mostraram diferença significativa apenas quanto às doses de N, P e K aplicadas.

As variáveis analisadas (altura das plantas, número de folhas, área foliar, diâmetro do colmo) aos 40 dias após a semeadura obtiveram diferença significativa somente quanto às doses de N, P e K aplicadas. As duas águas isoladas não causaram efeitos significativos sobre as variáveis.

Os índices avaliados demonstraram que, apesar das diferenças significativas encontradas na altura e no diâmetro de planta, existe possibilidade real de se utilizar a água de reúso, considerando que não houve diferença significativa entre os tipos de água utilizados no presente estudo. As diferenças encontradas entre as doses em relação à altura, número de folhas e diâmetro de planta; a falta de diferenças significativas entre número de folhas e, visto que a bibliografia consultada ressalta os benefícios a médio e longo prazo desse tipo de reúso.

Fernandes et al., (1991) Constataram, a partir dos resultados médios para o diâmetro dos colmos das plantas de milho, que os efeitos dos tratamentos foram

distintos e se acentuaram ao decorrer do ciclo de cultivo, em que tanto a altura quanto os diâmetros de colmos foram proporcionais ao crescimento da planta.

Saraiva et al., (2006) em estudo com milho irrigado com água residuária observaram que os dados de número de folhas apresentou diferença significativa para os tratamentos, resultados contrários aos encontrados no presente estudo.

A altura das plantas de sorgo aos 20 dias apresentou tendência polinomial em função das doses de N, P e K com aumento até os 100% das dosagens com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,98, respectivamente (Figura 2).

FIGURA 2: Curva de regressão para altura das plantas de sorgo em função do tipo de água e aplicação de doses de N, P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.

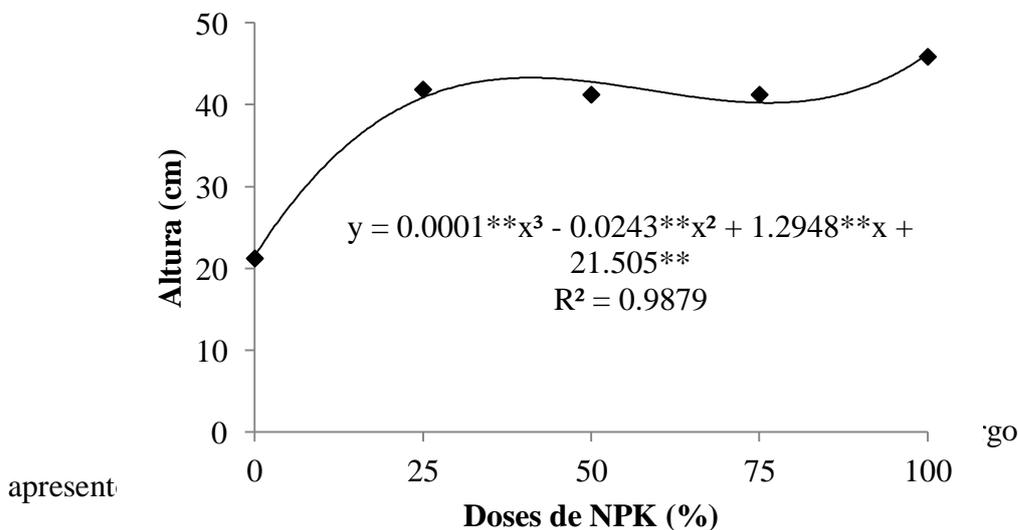
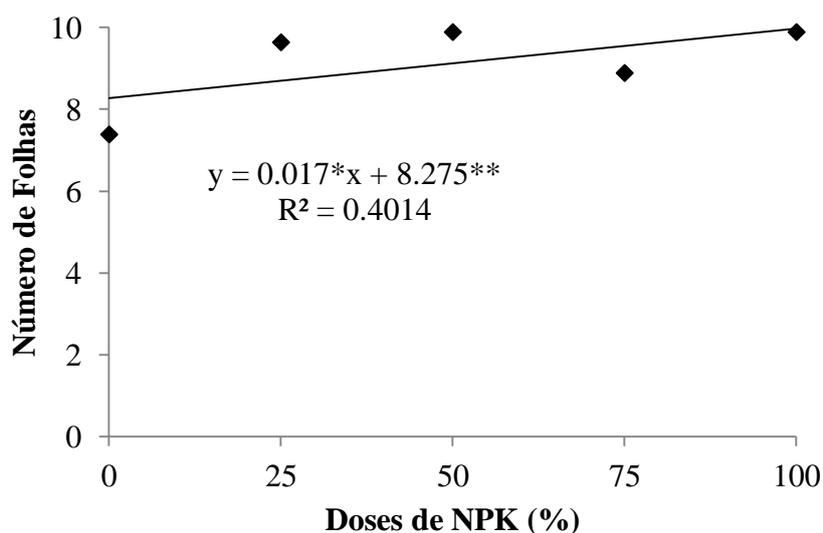
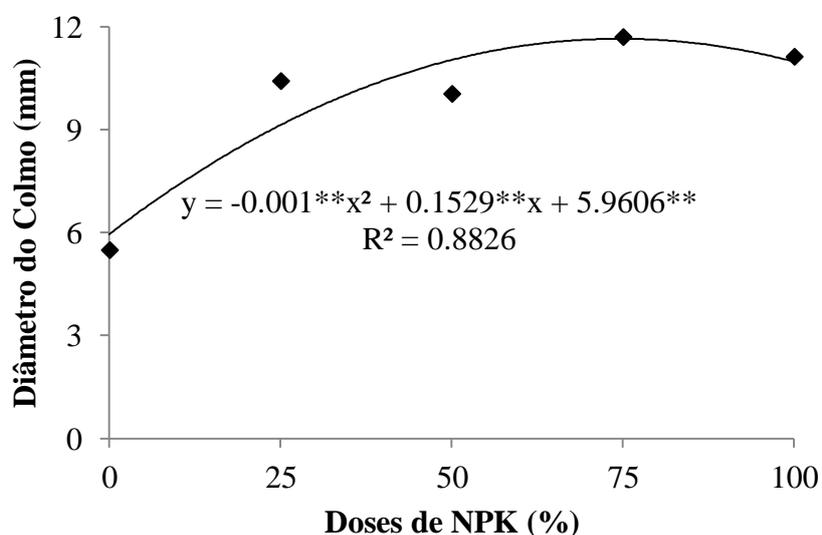


FIGURA 3: Curva de regressão para número de folhas das plantas de sorgo em função do tipo de água aplicado e doses de N, P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



A curva de regressão para o diâmetro do colmo das plantas de sorgo aos 20 dias após a semeadura apresentou tendência quadrática com  $R^2=0,88$ , com uma variação da espessura 5,48 (0% de NPK) a 11,7, com 75% da dose de N, P e K (Figura 4).

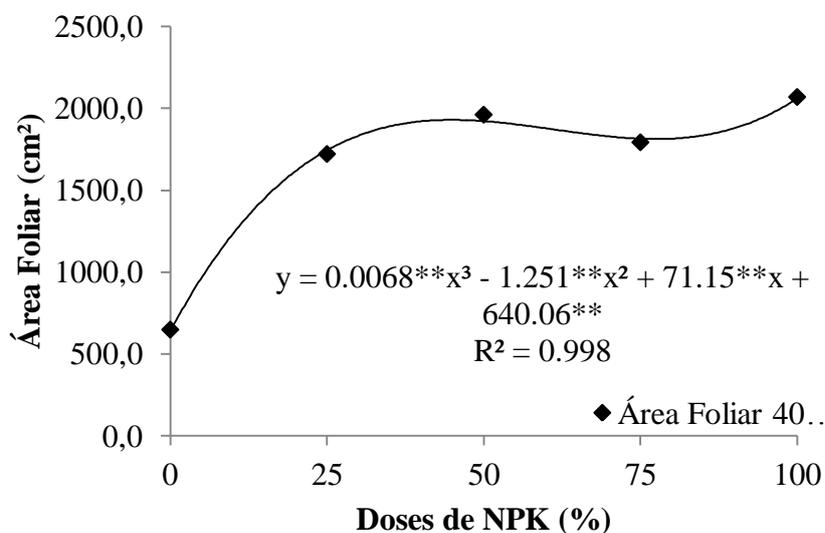
**FIGURA 4:** Curva de regressão para diâmetro do colmo de Sorgo em função da aplicação de doses de N,P e K, aos 20 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



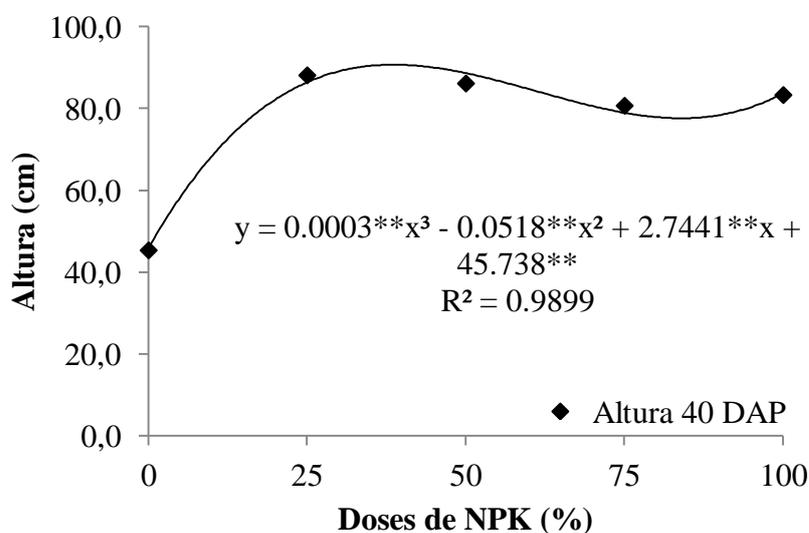
apresentou uma tendência polinomial com uma variação de 646,21 a 2066.7 cm<sup>2</sup> com a aplicação de 100% da dose de N, P e K recomendada para o cultivo em vaso do sorgo (Figura 5).

Os valores da altura das plantas no presente estudo tiveram um incremento isso pode ter decorrido devido às quantidades de N, P e K fornecidos (Figura 6). Destacando o N, um nutriente importante para o crescimento vegetativo, sobretudo nos primeiros meses, quando a planta está em desenvolvimento (BORGES, 2002).

**FIGURA 5:** Curva de regressão para área foliar do Sorgo em função da aplicação de doses de N,P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



**FIGURA 6:** Curva de regressão para altura das plantas de Sorgo em função da aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



Simili et al., (2008) em estudo com sorgo cultivado em Latossolo vermelho – amarelo, constataram que a adubação nitrogenada não influenciou a massa seca da forragem, e os valores para 100, 200 e 300 kg de N, foram: 2713,7; 2680,2; 3009,7 kg/ha, respectivamente. Já a porcentagem de colmos e folhas foi significativamente influenciada pelo aumento nas doses de nitrogênio, sendo que, para colmo, os valores

foram: 49,9; 52,4; e 54,4% ( $P = 0,03$ ) e para as folhas: 41,2; 37,7; 35,7% ( $P = 0,005$ ), respectivamente.

O efeito positivo da adubação nitrogenada sobre o rendimento e qualidade da forragem de sorgo é unanimemente relatado por diversos pesquisadores, assim Broyles e Fribourg (1959), Hart e Burton (1965) e Jung et al. (1964) relatam aumentos na produção e qualidade da forragem de sorgos até 280 kg de N/ha.

O nitrogênio, o fósforo e a matéria orgânica no efluente tratado são fertilizantes e condicionadores de solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas (FASCILOLO et al., 2002).

Acredita-se que a irrigação com efluente de esgoto auxiliou no aproveitamento dos nutrientes, principalmente N. Supõe-se pelo fato desse efluente apresentar alta concentração das formas de nitrogênio, fator esse que influenciou no desenvolvimento e crescimento das plantas.

#### **4.2 ANÁLISE NURICIONAL DA PLANTA**

Os resultados da análise de variância dos macronutrientes no tecido foliar das plantas de sorgo em função dos tipos de água e das doses de N, P e K aos 40 dias após a semeadura estão apresentados na Tabela 9.

Os nutrientes P e S mostraram diferença significativa a 5% com relação à interação. Os nutrientes K e Ca obtiveram resultados significativos a 1% com relação as interação. Os teores de nitrogênio apresentaram diferença significativa a 5% de significância quanto às doses de N, P e K aplicadas, mas não se adequaram a nenhum modelo de regressão.

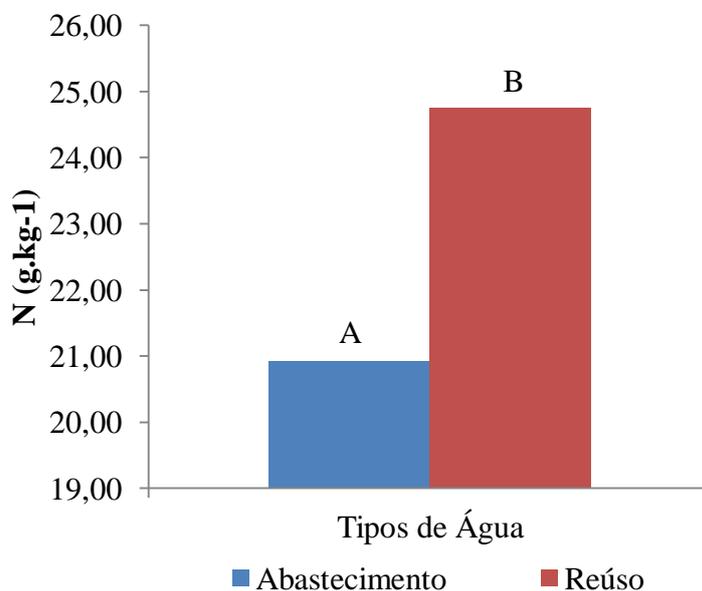
TABELA 9: Resumo da análise de variância dos macronutrientes no tecido foliar das plantas de sorgo em função dos tipos de água e das doses de N, P e K, aos 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, CE. 2015.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio				
		N	P	K	Ca	Mg
$\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$						
Tipos de água (A)	1	108,03**	0,228 <sup>ns</sup>	520,83 <sup>ns</sup>	185,92**	25,87**
Doses de NPK (B)	4	31,53*	0,604**	260,50**	117,71**	0,49 <sup>ns</sup>
A x B	4	5,68 <sup>ns</sup>	0,402*	122,54**	132,57**	2,64 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	9,37	0,111	4,59	2,95	0,61
cv(%)		13,57	18,73	10,33	15,88	17,78

#### 4.2.1 Nitrogênio no tecido foliar

Os valores de nitrogênio no tecido foliar das plantas de sorgo apresentaram diferença significativa em relação ao tipo de água aplicada, com médias de 20,92 e 24,75  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , abastecimento e reúso, respectivamente (Figura 7).

FIGURA 7. Valores médios de nitrogênio no tecido foliar das plantas de sorgo em função do tipo de água (abastecimento e reúso) aplicado aos 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, CE. 2015.



Segundo Martinez et al., (1999), os valores de referência de nitrogênio adequados para o tecido foliar na cultura do sorgo estão entre 23,1 e 29,0 g.kg<sup>-1</sup>, demonstrando que a aplicação de água de reúso no estudo supriu a exigência de nitrogênio requerida pela cultura.

O uso efluente doméstico na irrigação proporcionou um aumento no teor de nitrogênio nas folhas, o que indica a eficiência e disponibilidade no uso de efluente doméstico como fonte de nitrogênio para as plantas.

Mota et al. (1997) em estudo com o sorgo e algodão irrigados com esgoto tratado, observaram um desempenho de produção superior em relação àquelas parcelas que foram irrigadas com água da rede de abastecimento. Corroborando com os resultados desta pesquisa, Sousa (2009) trabalhando com pesquisa do capim Tiffon 85, também uma gramínea, constatou que os tratamentos irrigados com esgoto tratado os níveis de matéria seca foram superiores aos obtidos com irrigação com água de poço.

Araújo et al., (2004) relataram que doses crescentes de fertilizante nitrogenado elevou os teores de N na folha do milho de forma proporcional ao aumento das doses na adubação. Entretanto esses resultados são contrários aos encontrados no presente estudo.

Nascimento et al., (2012) em trabalho com algodoeiro cultivado em Latossolo, verificou que o teor nitrogênio nas plantas foi maior quando foi utilizado a fertirrigação com 100% de água residuária (39,66 g kg<sup>-1</sup>), na qual se obteve um incremento de 17% comparado tratamento controle.

Para Gomes et. al. (2007) a produção de milho com doses crescentes de lodo proporcionou maior absorção de nitrogênio nas plantas, contudo não se mostraram suficientes para boa condição nutricional das plantas.

Em muitas plantas, quando as raízes recebem pequenas quantidades de nitrato, este é reduzido principalmente nesses órgãos. À medida que o suprimento aumenta, uma proporção maior do nitrato absorvido é translocado para as partes aéreas onde será assimilado (MARSCHNER, 1995).

#### **4.2.2 Fósforo no tecido foliar**

Os valores de fósforo no tecido foliar tiveram uma tendência linear, quando as plantas foram irrigadas com água de abastecimento e polinomial para água de reúso.

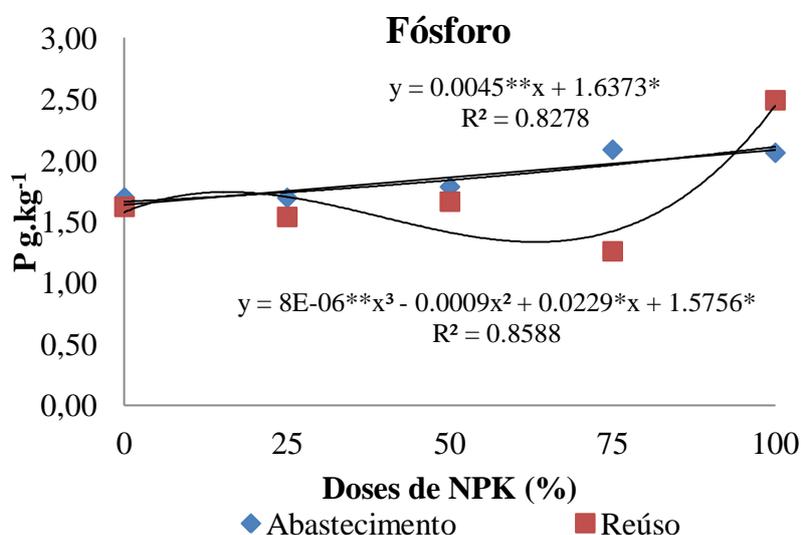
Os teores de fósforo no tecido foliar atingiram o ponto máximo, quando foi aplicada a dose máxima de NPK no solo combinada a água de reúso.

Os teores de fósforo nas doses de 0, 25, 50 e 75% de NPK, foram inferiores no tecido foliar das plantas irrigadas com água de reúso. Apenas as plantas irrigadas com água de reúso e com dose de 100% de adubação. Não houve diferença significativa quanto ao tipo de água aplicado (Figura 8).

Os teores de fósforo no tecido foliar das plantas sorgo ficaram abaixo o valores de referência sugerido para a cultura que é  $4,4 \text{ g.kg}^{-1}$  (Martinez et al., 1999). O alto valor do pH das águas utilizadas na irrigação do sorgo pode ter influenciado os íons fosfatos tornarem-se compostos pouco solúveis, comprometendo a assimilação de fósforo pela planta (MALAVOLTA, 1986). A principal forma de fósforo absorvida pela planta é  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$  que predomina em condições mais ácidas. As formas  $\text{HPO}_4^{-2}$  e  $\text{PO}_3^{-2}$  são absorvidas em menor quantidade e predominam em condições alcalinas.

Corroborando com os resultados encontrados por Costa et al., (2012) em trabalho realizado com o cultivo de milho, a água residuária favoreceu a absorção de fósforo no tecido foliar onde o tratamento com 100% de aplicação de água reúso comparado ao tratamento controle (0 de água residuária) obteve médias de 2,69 e 0,26  $\text{g.kg}^{-1}$ , respectivamente.

FIGURA 8: Curva de regressão para teores de P no tecido foliar do Sorgo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N,P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



A concentração de P no tecido vegetal foi menor na irrigação com efluente de esgoto tratado, indicando um acúmulo maior desse elemento nas plantas irrigadas com água de abastecimento. O resultados são consistentes com os de Morgan et al. (2008) e Herpin et al. (2007) que relataram concentração reduzida P em citrus e café (*Coffea arabica* L.) irrigados com água de reúso.

Menard; Malavolta (1962) relataram que há antagonismo entre o fósforo e nitrogênio, encontraram em estudos realizados com mudas de café menores concentrações foliares de nitrogênio na massa seca da parte aérea quando foram aumentados os teores de fósforo no substrato.

O máximo teor de P no tecido foliar foi observado no tratamento irrigado com água de reúso ( $2,49 \text{ g.kg}^{-1}$ ) com a aplicação de 100% da dose de NPK, o mesmo observado na curva de regressão do magnésio que apresentou o teor máximo de Mg com a irrigação da água de reúso com a aplicação de 100% da dose de NPK, este resultado pode estar relacionado ao efeito sinérgico do Mg com o P quanto à absorção deste, ou seja, o magnésio proporciona um incremento na absorção do fósforo (PRADO, 2008). Esse autor relata que o Mg funciona como um carregador do P, explicado pela ativação da ATPase nas membranas contribuindo com a absorção e também pela geração de ATP na fotossíntese e na respiração. Estudos relataram relações antagônicas e interações sinérgicas de nutrientes em plantas irrigadas com efluente de esgoto tratado (KALAVROUZOTIS et al., 2009).

#### **4.2.3 Potássio no tecido foliar**

Os teores de potássio no tecido foliar das culturas irrigadas com água de efluente estiveram abaixo dos teores de tecido foliar das plantas irrigadas com água de abastecimento em todas as doses de NPK aplicadas. A dose aplicada com 100% de NPK obteve média similar em ambos os tratamentos (abastecimento e reúso). Ambas as curvas tiveram representação polinomial com  $R^2 = 0,99$ , para ambos os tratamentos (Figura 9).

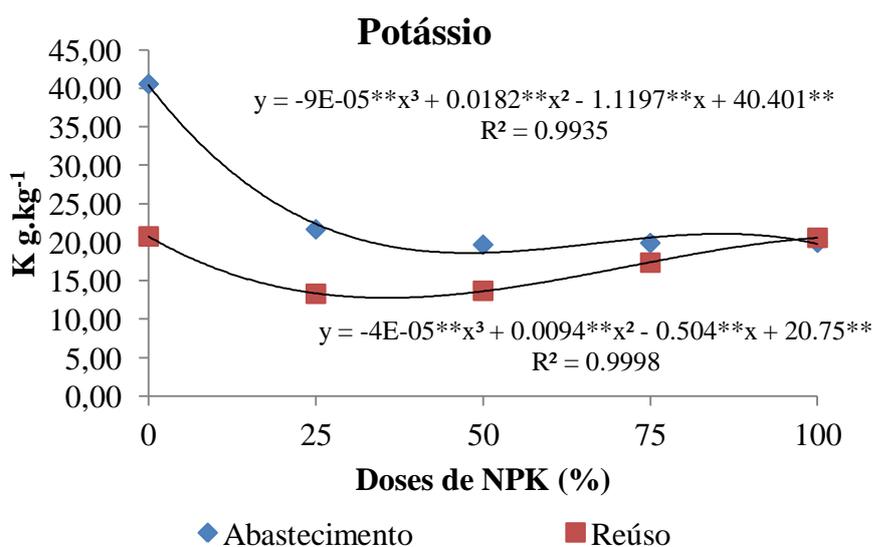
Os teores foliares de potássio no tecido foliar variou entre 13,69 e 20,58  $\text{g.kg}^{-1}$  (água de reúso) e 19,78 e 40,58  $\text{g.kg}^{-1}$  (água de abastecimento), esses resultados mantiveram-se dentro dos valores de referência para a cultura do sorgo sugeridos por Martinez et al., (1999): 13 a 30  $\text{g.kg}^{-1}$ .

A redução de potássio em plantas irrigadas com efluente de esgoto tratado foi previamente descrito em citrus e repolho (*Brassica oleracea* L.) por Kalavrouziotis et al. (2008) e Reboll et al. (2000). Tal fato pode ter ocorrido devido a maior concentração de  $\text{Na}^+$  no solo causando a lixiviação de  $\text{K}^+$ , conseqüentemente a redução em sua disponibilidade. Segundo Epstein; Bloom, (2006) altas concentrações de  $\text{Na}^+$  na solução do solo inibem a absorção passiva de  $\text{K}^+$ . Apesar da redução nos teores de  $\text{K}^+$  no tecido foliar das plantas irrigadas com efluente, os teores desse nutriente estiveram dentro dos valores de referência sugeridos para a cultura. Portanto, os efeitos negativos do reúso de efluente nos teores de  $\text{K}^+$  são mínimos.

Prado et al., (2008) mencionaram que o processo de absorção do potássio pode ser interferido em situações de elevadas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , podendo inibir a absorção do mesmo.

Prado et al., (2004) observaram que doses crescentes de potássio no cultivo de maracujazeiro-amarelo foi proporcional ao aumento do potássio na matéria seca da parte aérea desta cultura. Isto indica que a água residuária não é uma fonte de potássio em potencial para as plantas e que a concentração na folha desse elemento, dentro da faixa ótima, foi proveniente de outras fontes além do efluente, como o solo.

FIGURA 9: Curva de regressão para teores de K no tecido foliar do sorgo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



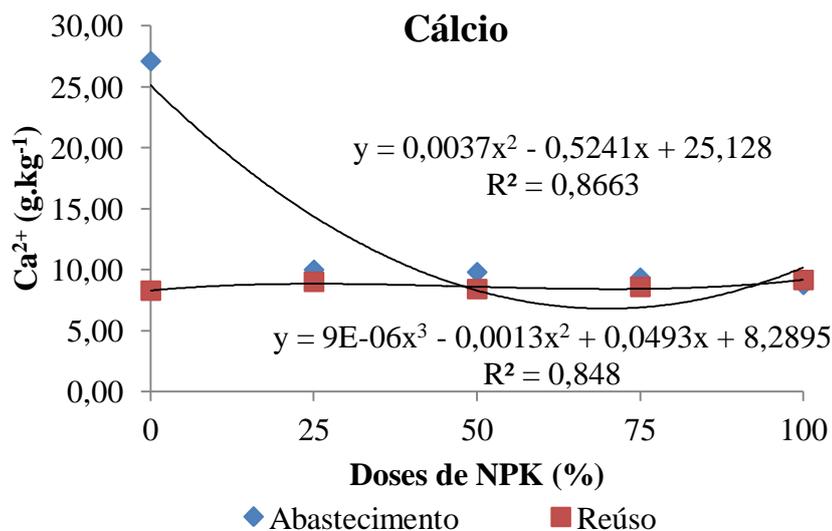
#### 4.2.4 Cálcio no tecido foliar

Os teores de cálcio no tecido foliar nas plantas irrigadas com água de reúso e abastecimento, apresentaram-se constantes independentes das doses de NPK aplicadas, com exceção do tratamento controle (0% de NPK). Mostrando que a água não afetou a quantidade de cálcio na planta (Figura 10).

Os resultados obtidos nas análises de tecido foliar quanto a quantidade de cálcio estão entre os valores de referência sugeridos por Martinez et al., (1999).

Os teores de Cálcio encontrados no tecido vegetal das plantas de sorgo não se ajustaram a nenhum modelo de regressão.

FIGURA 10: Quantidade de cálcio no tecido vegetal de plantas de sorgo irrigadas com água de abastecimento e reúso, 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, 2015.

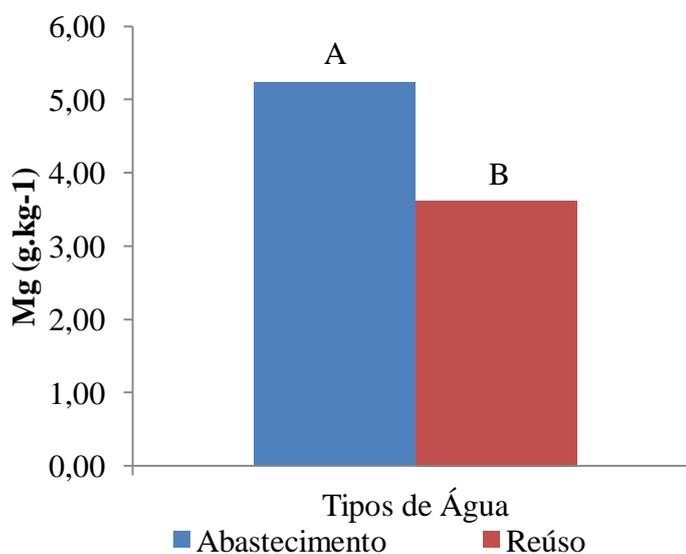


#### 4.2.5 Magnésio no tecido foliar

A média dos teores de magnésio obtido na análise do tecido foliar das plantas de sorgo, submetidas à irrigação com água de abastecimento e reúso foram: 5,23 e 3,62  $\text{g.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figura 11). O valor encontrado nas plantas irrigadas com água de abastecimento, encontram-se muito acima dos valores de referência do teor foliar de Mg considerado adequado para a cultura do sorgo que podem variar de 2,6 a 3,8  $\text{g.kg}^{-1}$  (MARTINEZ et al., 1999).

Como regra geral, Malavolta (1984) assinala que as quantidades de Ca, contidas nas culturas anuais são maiores do que as de Mg, e isso foi obtido por Rosolem e Malavolta (1981) nas cultivares de sorgo sacarino Rio e Brandes, usadas num experimento de campo. Resultados contrários dos obtidos no presente estudo, isso pode ter ocorrido devido aos teores de magnésio contidos na água de irrigação.

FIGURA 11: Valores de magnésio no tecido vegetal das plantas de sorgo irrigadas com água de abastecimento e reúso, 40 dias após a semeadura, UFC, Fortaleza, 2015.



O Mg nas plantas destaca-se a sua participação como ativador enzimático. Quase todas as enzimas fosforilativas, tanto de incorporação como de transferência do P inorgânico, dependem da presença de Mg, que é capaz de formar uma ponte entre o ATP e/ou Adp e a molécula da enzima. Essa transferência de energia é fundamental para os processos fisiológicos como fotossíntese, respiração, reações de síntese de compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico, como a expansão radicular (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008; MARSCHNER, 2012).

O sinergismo entre P e Mg, ou seja, a absorção de P é máxima quando na presença de Mg na solução do solo, por se tratar de um carregador de P, como resultado da participação do Mg na ativação de ATPases da membrana responsáveis pela absorção iônica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 2006).

### 4.3 ANÁLISE DE SOLO APÓS 40 DIAS DO EXPERIMENTO

O resumo das análises das variâncias para os dados de teores de P, K e Na no solo podem ser observados na tabela. Pelos resultados apresentados verificou-se efeito significativo entre os tipos de água (abastecimento e reúso) em todas as variáveis analisadas (Tabela 10).

Tabela 10: Resumo da análise de variância dos nutrientes no solo cultivado com sorgo em função dos tipos de água e das doses de N, P e K, aos 40 DAS, UFC, Fortaleza, CE. 2015.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		P	K	Na
		mg.kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	
Tipos de água (A)	1	115,34072**	0,000269ns	0,053530**
Doses de NPK (B)	4	1343,1512**	0,006053**	0,0039649**
A x B	4	311,94963**	0,001095**	0,012030**
Resíduo	30	4,844914	0,000074	0,002884
cv(%)	-	10,78	13,17	8,75

#### 4.3.1 Fósforo no solo

Os valores do teor de fósforo no solo podem ser visualizados na figura 10. A quantidade de fósforo no solo apresentou interação entre os tipos de água usados na irrigação e as doses de N, P e K aplicadas no experimento. A curva de regressão se adequou ao modelo polinomial com  $R^2 = 0,99$  (abastecimento) e  $0,96$  (reúso) (Figura 12).

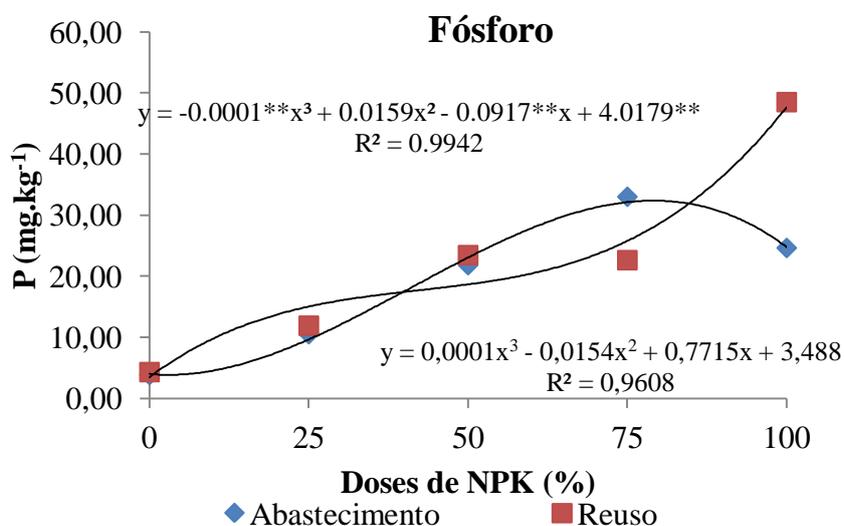
Observa-se variação entre os teores de fósforo e as doses de N, P e K aplicadas no estudo, as doses de 0, 25 e 50% apresentaram resultados semelhantes para os dois tipos de água, com o uso da dose de 75% da dose N, P e K observou-se que o solo irrigado com a água de abastecimento promoveu um maior teor de fósforo e

posteriormente com a aplicação de 100% de N, P e K um decréscimo desses teores na aplicação da água de abastecimento, resposta contrária a irrigação com efluente.

Al-Nakshabandi et al. (1997) em apenas cinco meses cultivando berinjela irrigada com um efluente tratado contendo  $28 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{PO}_4$ , verificaram aumento significativo nos teores de fósforo do solo.

Marcolan (2006) relata que os solos diferem quanto à sensibilidade do fósforo lábil a alterações do fósforo da solução; essa resistência é denominada poder tampão ou fator capacidade de fósforo do solo. Solos com maior poder tampão, mantêm constantes os valores de P da solução quando submetidos à retirada do mesmo. O P lábil atua tamponando o sistema, isto é, procurando controlar os excessos e as carências, dentro dos limites de cada solo.

FIGURA 12: Curva de regressão para teores de P no solo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



Os teores de potássio contidos no solo apresentaram interação quanto os tipos de água aplicados e as doses de N, P e K, aplicadas. Sendo o modelo polinomial que mais se ajustou aos dados com um  $R^2= 0,78$  e  $0,76$ , abastecimento e reúso (Figura 13).

O teor de K no solo antes da realização do experimento era de  $0,15 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  e após o experimento a quantidade desse nutriente no solo variou de  $0,08$  a  $0,11 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ , podemos observar a redução desse nutriente no solo. Isso pode ter ocorrido

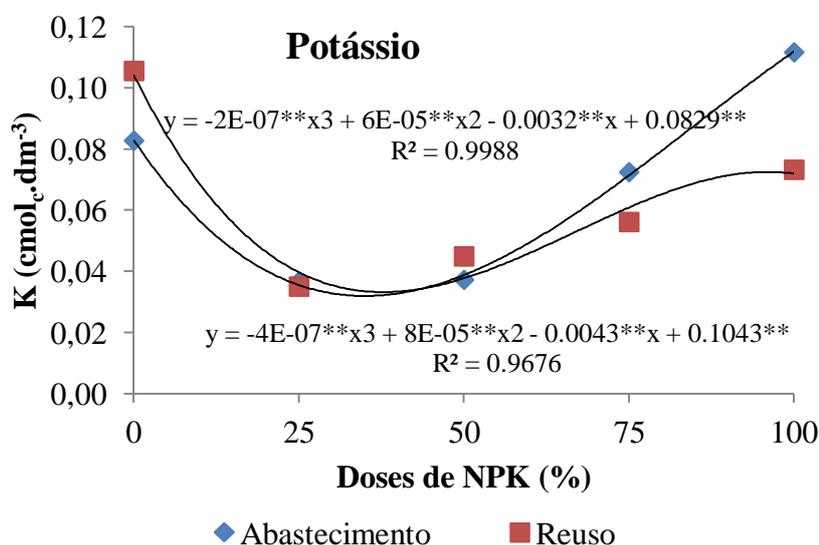
devido ao fato de parte considerável do adubo ser convertido inicialmente em formas não trocáveis e a passagem da forma de K não trocável para formas trocáveis estão sujeitas a lixiviação rápida.

Miranda (1995) após um ciclo de cultivo do alface também observou redução de K (24,5%) na análise do solo. Costa et al. (2009), concluiu que a difusão e a absorção de potássio são favorecidas pela constância de alta concentração do  $K^+$  na solução do solo e pela ausência de impedimentos físico e químico, esses fatores podem ter relação com os resultados obtidos. Em solos onde a predominância da caulinita a passagem do K trocável para a solução do solo é rápida, como no presente estudo (MALCON;KENNEDY, 1969).

Rosolem et al. (1993) em estudo realizado com cinco tipos de solo cultivados com soja e sem aplicação de adubos potássicos constatou que intensidade de liberação do K não trocável, independente do tipo de solo, manteve equilibrados os níveis de K trocável da maioria dos solos no decorrer do cultivo das plantas, sendo a forma não trocável do solo a principal fonte desse nutriente pelas plantas.

Deve-se observar os teores de K após o cultivo pois a extração do potássio do solo pela planta pode levar o solo a exaustão, isso porque a aplicação reduzida de adubo pode levar ao esgotamento das reservas do solo, e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas, mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica. (ERNANI et al., 2007).

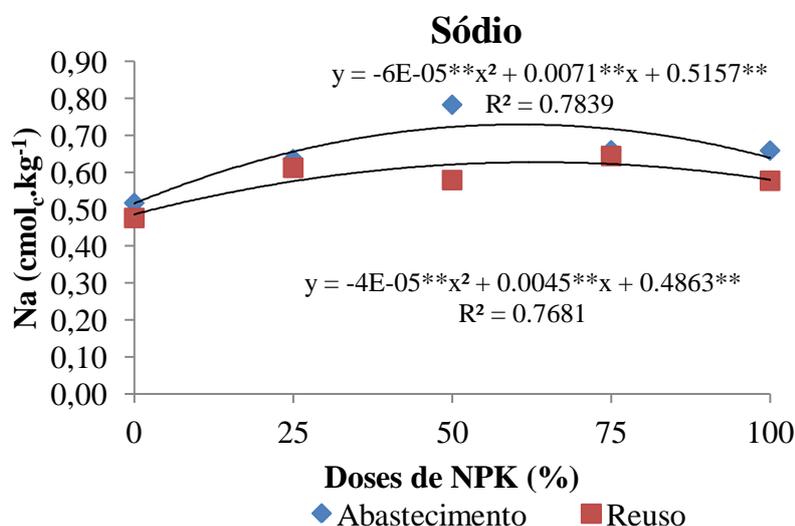
**FIGURA 13:** Curva de regressão para teores de K no solo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



### 4.3.3 Sódio no solo

Os teores de Na no solo mostraram interação significativa entre o tipo de água utilizado (abastecimento ou reúso) e as doses de N, P e K aplicadas (Figura 14). Os valores de Na no solo se adequaram ao modelo de regressão polinomial com um  $R^2=0,78$  e  $0,76$ , irrigação com água de abastecimento e reúso, respectivamente.

**FIGURA 14:** Curva de regressão para teores de Na no solo, em função da irrigação com água abastecimento e reúso e aplicação de doses de N, P e K, aos 40 dias de semeadura, UFC, Fortaleza, Ceará, 2015.



Antes do experimento a teor de Na<sup>+</sup> no solo era de  $0,06 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , após o experimento os teores variaram entre  $0,48$  a  $0,78 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , observando um aumento considerável nos teores de Na no solo independente do tipo de água aplicada no experimento, com valores superiores para a água de abastecimento. Constata-se, também, o aumento progressivo dos valores de sódio cujo excesso pode diminuir a permeabilidade do solo, reduzindo o processo de infiltração de água e sua absorção pela planta (VARALLO et al., 2010). Observou-se uma concentração presente de sódio na água de reúso de  $24,2 \text{ mg L}^{-1}$  e  $6,6 \text{ mg L}^{-1}$  na água de abastecimento.

Divergindo das conclusões da presente pesquisa, em relação à sodificação do solo, os resultados do estudo realizado por Miranda et al. (2001) mostraram que não houve acúmulo progressivo de sódio no solo, indicando que não existiram problemas de sodificação ao longo do tempo, com a disposição dos esgotos no solo arenoso, devido à sua alta permeabilidade, baixa CTC e alta pluviosidade.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação de efluente de esgoto no cultivo o sorgo supriu a exigência de nitrogênio requerida pela cultura, o contrário do que ocorreu com os teores de fósforo na planta.

A irrigação com água de efluente de esgoto tratado gerou aumentos em alguns parâmetros químicos no solo, mas este aumento não foi o suficiente para comprometer a sua utilização na irrigação.

O efluente de esgoto tratado pode ser aplicado na irrigação do sorgo desde que utilizando um manejo adequado, observando principalmente possíveis deficiências de fósforo e acúmulo de  $\text{Na}^+$  no solo ao longo do período em que o reúso desse efluente for aplicado.

A utilização de água de reúso em estudo para fins agronômicos deve ser aplicada de forma racional, monitorando-se principalmente a elevação do teor de sódio qualidade da água aplicada ao solo.

## REFERÊNCIAS

ALBINATI, R. C. B.; ALBINATI, A. C. L.; MEDEIROS, Y. D. Utilização de águas desprezadas para a produção de alimentos no semiárido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15. Disponível em: <http://www.grh.ufpa.br/Publicacoes/Artigos/Artigos.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2014.

AGRAFIOTI, E.; DIAMADOPOULOS, E. A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete. **Agricultural Water Management**, v.105, p.57– 64, 2012.

AKPONIKPÈ, P. B. I.; WIMA, K.; YACOUBA, H.; MERMOUD, A. Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: benefits and risks. **Agricultural Water Management**, v.98, p. 834–840, 2011.

AL-NAKSHABANDI, G. A. et al. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, v. 34, p. 81 – 94, 1997.

AMAHMID, O.; ASMAMA, S.; BOUHOUM, K. The effect of waste water reuse in irrigation on the contamination of food crops by Giardia cysts and Ascaris eggs. **International Journal of Food Microbiology**, v.49. n.1, p.19–26, 1999.

AMAHMID, O. Impact de la réutilisation des eaux usées en agriculture, sur la distribution des protozooses intestinales et sur la contamination des cultures dans la zone d'épandage de Marrakech. Thèse de 3ème cycle, **Fac. Sciences**, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 2001.

ANGELAKIS, A. N.; MARECOS DO MONTE, M. H.; BONTOUX, L.; ASANO, T.; The status of wastewater. Reuse practice in the Mediterranean basin. **Water Res.** v.33, n.10, p.2201–2217, 1999.

ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:771-777, 2004.

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 1, p. 253-263, 2005. ANDREWS, J. **Peppers: the domesticated Capsicum**. University of Texas Press, Austin, p. 170, 1984.

BANCO MUNDIAL. **La ordenación de los recursos hídricos**. 1994.

BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola dos esgotos sanitários**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 84p, 1999.

BAZZANI, G.M., DI PASQUALE, S., GALLERANI, V., MORGANTI, S., RAGGI, M., VIAGGI, D. The sustainability of irrigated agricultural systems under the water framework directive: first results. **Environmental Modelling & Software**, v.20, p. 165–175, 2005.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para a agricultura**. Monografia (Especialização Lato Sensu, com área de concentração em planejamento estratégico) – ISEA/ECOBUSINESS SCHOOL, BRASÍLIA, 625P, 2003.

BEZERRA, F. C. M. A água. In: MOTA, S. A **Reúso de água no Rio de Janeiro** : ABES, 1997.

BIGGS, T.W.; JIANG, B. B. Soil salinity and exchangeable cations in a wastewater irrigated area, India. *Journal of Environmental Quality*, v.38, p.887–896, 2009.

BORGES, A. L.; SILVA, T. O.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, I. E. A. Adubação nitrogenada para bananeira terra (*Musa* sp. AAB, subgrupo Terra). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.189-193, 2002.

BOUHOUM, K.; SCHWARTZBROD, J. Epidemiological study of intestinal helminthiasis in a Marrakech raw sewage spreading zone. **Zentralblatt Hygiene Umweltmed**, v.200, p.553–561, 1998.

BROYLES, K. R.; FRIBOURG, H. A. Nitrogen fertilization and cutting management of sudangrass and millets. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n. 5, p. 277-279, 1959.

CALIFORNIA WATER PLANNING, Department of Water Resources, State of California, 2009. (<http://www.waterplan.water.ca.gov/cwpu2009/index.cfm>)

CARR, R. WHO guidelines for safe wastewater use-more than just numbers. *Irrigation drainage*, v.54, p.103–111, 2005.

CHANG, D.H., Ma, Z. Waste water reclamation and reuse in Beijing: influence factor and policy implications. **Desalination**, v.297, p.72–78, 2012.

CHEN, W.; LU, S.; JIAO, W.; WANG, M.; CHANG, A. C. Reclaimed water: A safe irrigation water source. *Environmental Development*, p. 2211-4645, 2013.

CIFUENTES, E.; BLUMENTHAL, U.; RUIZ-PALACIOS, G.; BENNET, S. Biological health risks associated with the composting of wastewater plant sludge. **Water Pollution Control Federation Research Journal**, v.56, p.1269–1276, 1992.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. A.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. *Arquivo do Agrônomo*- no 14, 2002.

COOLEY, H., CHRISTIAN-SMITH, J., GLEICK, P.H., ALLEN, L., COHEN, M., *Understanding and Reducing the Risks of Climate Change for Transboundary Waters*. Pacific Institute, California, 2009.

COSTA, L. R.; GURGEL, M. T.; ALVES, S. M. C.; MOTA, A. F.; AZEVEDO, J.; ALMEIDA, J. P. N. Crescimento de mudas de cajueiro anão precoce irrigado com efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.7, n.3, p.421-426, 2012.

Costa, J. P. V.; Barros, N. F.; Bastos, A. L.; Albuquerque, A. W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.56-62, 2009.

DRECHSEL, P.; GRAEFE, S.; SONOU, M.; COFIE, O.O. Informal irrigation in urban West Africa: An overview. Colombo, **Sri Lanka: International Water Management Institute**, p. 40 (IWMI Research Report 102 – Peer reviewed), 2006.

DUNCAN, R. R.; CARROW, R. N.; HUCK, M. T. Turf grass and Landscape Irrigation Water Quality: Assessment and Management. CRC Press, BocaRaton, FL, 2009.

EL HAMOURI, B.; HANDOUFE, A.; MAKRANE, M.; TOUZANI, M.; KHANA, A.; KHALLAYOUNE, K.; ET BENCHOUKROUN, T. (1996). Use of wastewater for crop production under arid and saline conditions: Yield and hygienic quality of the crop and soil contamination. **Water Science Technology**, v.33(10–11), p.327–334. Embrapa Hortaliças Sistemas de Produção, 2 ISSN 1678-880x Versão Eletrônica Nov./2007

ENGLE, N.L., JOHNS, O.R., LEMOS, M.; NELSON, D.R. Integrated and adaptive management of water resources: tensions, legacies, and the next best thing. *Ecology and Society* 16 (1), 19 [online] 2011. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art19/>. Acesso em: 23 de out de 2013.

ESPAÑA. Ministro de Obras públicas y transporte. Depuración por lagunaje de águas residuales: manual de operadores. España: MOPT, 1991.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EPSTEIN, E., BLOOM, A., EPSTEIN, E., & BLOOM, A. (2006). Nutrição e crescimento. Nutrição mineral de plantas. Londrina: Planta, 251-286.

ERNANI, P.R.; BAYER, C. & ALMEIDA, J.A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:393-402, 2007.

FASCIOLO, G.E.; MECA, M.I.; GABRIEL, E.; MORÁBITO, J. Effects on crops of irrigation with treated municipal wastewaters. **Water Science and Technology**, Oxford, v.45, n.1, p.133-8, 2002.

FAO. **Situacion de los bosques no mundo**. Roma, p.144, 2007.

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

FERNANDES, J. C.; HENRIQUES, F. S. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Review*, v. 57, n. 3, p. 246-273, 1991.

FINNEY, B. A.; MIDDLEBROOKS, E. J. Facultative waste stabilization pond design. **Journal WPCE**, v.52(1), 1980.

FRACARO, N. V. Diagnóstico sócio-ambiental do trecho superior da bacia do rio Vitorino, Sudoeste do Paraná. **Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)** – Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Anuário estatístico do Ceará. Fortaleza, 2010. [http: //www.funceme.br](http://www.funceme.br). Acesso em 20 de out de 2013.

GIORDA, L; FERESIN, O. **Importancia del sorgo**. Disponível em: <[http://www.inta.gov.ar/manfredi/sorgo. htm](http://www.inta.gov.ar/manfredi/sorgo.htm)>, acessado em 12 de Janeiro de 2014.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.5, p.459-465, 2007.

HARDENBURG R.E.; WATADA A.; WANG C.Y. The commercial storage of fruits, vegetables, florist and nursery stocks. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 66. Washington, DC, p. 23–25, 1990.

HART, R. H.; BURTON, G. W. Effect of row spacing, seeding rate and nitrogen fertilization on forage yield and quality of Gahil-1 Pearl millet. **Agronomy Journal**, Madison, v. 57, n. 4, p. 376-378, 1965.

HERPIN, UWE, et al. "Chemical effects on the soil–plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation—A pilot field study in Brazil." *agricultural water management* v.89, n.1,p. 105-115, 2007.

JUNG, G. A.; LILLY, B.; SHIH, S. C.; REID, R. L. Effect of growth stage and level of nitrogen fertilizer upon yield of dry matter and protein, aminoacid composition and prussic acid potential. **Agronomy Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 533-537, 1964.

KALAVROUZIOS, I.K., KOUKOULAKIS, P., SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M., PAPANIKOLAOU, C. Effects of treated municipal wastewater on the essential nutrient interactions in the plant of Brassica oleracea var. Italica. **Desalination** .v. 242, 297–312, 2009.

KALAVROUZIOS, I.K., ROBOLAS, P., KOUKOULAKIS, P.H., PAPAPOPOULOS, A. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements status of soil and of Brassica oleracea var. Italica, and B. oleracea var. Gemmifera. **Agric. Water Manage.** v 95, p 419–426, 2008.

KERAITA, B. N.; DRECHSEL, P.; Agricultural use of untreated urban wastewater in Ghana. In: Scott, C.A., Faruqui, N.I., Raschid-Sally, L. (Eds.), **Wastewater Use in Irrigated Agriculture**. CABI Publishing, Wallingford, UK, 2004.

LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.D.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Sodicty and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**. v.96, 307–316, 2009.

LUBELLO, C.; GORI, R.; NICESE, F.P.; FERRINI, F. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. **Water Research**, v.38, p.2939–2947, 2004.

LI-COR. LI 3100 area meter instruction manual. Lincoln: LI-COR, Inc. (ed.), 1996. 34p.

MAGALHÃES, W. S.; CAMPOS R. T. Economia agrícola, recursos naturais e meio ambiente. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.28, n. especial, p.417-429, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e corretivos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais**. Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984. p.59-78. (EMBRAPA-DEP.Documentos, 14)

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas** São Paulo: Ceres, 2006. 638 p

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. in: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Org). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 189-238.

MARCOLAN A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. Tese. Programa de Pós-graduação em ciência do solo Faculdade Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande Sul. Porto Alegre, p.107, 2006.

MALCON, R. L.; KENNEDY, V.C. Rate of cation exchange on clay minerals as determined by specific-ion electrode techniques. **Soil Science Society of American, Proceedings**, Madinsson, V.33, p- 247-253, 1969.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**, 2nd ed. Academic Press, London, 1995.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>a</sup> ed. Austrália: Elsevier, 2012, 651 p.

MARTINEZ HEP; CARVALHO JG; SOUZA RB. 1999. Diagnose foliar. In: RIBEIRO AC; GUIMARÃES PTG; ALVAREZ VENEGAS VH. (eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p. 143-168.

MENESES, M.; PASQUALINO, J.C.; CASTELLS, F. Environmental assessment of urban wastewater reuse: treatment alternatives and application. **Chemosphere**. v.81, p.266–272, 2010.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

MEZZENA, A. G. L. **O sorgo ganha espaço**. Revista Rural. Disponível em: <<http://www.clubedofazendeiro.com.br/ModulosPub/Modulo.Asp?Menu=53>>, acessado em 04 de janeiro de 2015

MIRANDA, T. L. G. **Reúso de efluente de esgoto doméstico na irrigação de alface (Lactuca sativa L.)**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 109p. Dissertação Mestrado, 1995.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**; v.36(3): p.370-4, 2002.

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.

MOTA, F. S. (Organizador). **Reúso de água: experiência na Universidade do Ceará**. Fortaleza: DEHA/UFC, 2000.

MOTA, S.; BEZERRA, F.C.; TOMÉ, L.M. Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado. **Anais 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES, p. 20-26. 1997.

OMS. **L'utilisation des eaux usees en agriculture et en aquaculture: Recommandations a visees sanitaires**. OMS serie de rapports techniques v.778, 1989.

ORAGUI, J. I.; CURTIS, T.P.; SILVA, S.A.; MARA, D.D. The removal of excreted bacteria and virus in deep wastestabilization ponds in northeast Brazil. **Water Sci. Technol.** v.19(10), p. 569±573, 1987.

ORON, G. Agriculture, water and the environment: future challenges. **Water Sci. Technol.: Water Supply**. v.3, p.51–53, 2003.

OUAZZANI, N., BOUHOUM, K., MANDI, L., BOUARAB, L., HABBARI, KH., RAFIQ, F., PICOT, B., BONTOUX, J., & SCHWATZBROD, J.. Wastewater treatment by stabilization pond: Marrakech experiment. **Water Science Technology**, v. 31, n.12, p. 75–80, 1995.

PAIVA, L.A.L; ALVES, S.M.C; BATISTA, R.O; OLIVEIRA, J.F; COSTA, M.S; COSTA, J.D. Influência da aplicação de esgoto doméstico terciário na produção de mudas de pimenta malagueta. In: **Inovagri International Meeting e VI Winotec**, 2012. Anais... Fortaleza, 2012. 6p.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465 – 475, 2000.

PEDRERO,F.; KALAVROUZOTIS, I.; ALARCÒN, J.J.; KOUKOULAKIS,P.; ASANO,T. Use of treated municipal wastewater inirrigated agriculture: review of some

practices in Spain and Greece. **Agricultural Water Management**, v.97,p.1233–1241, 2010.

PEARSON, H. W. Performance of the phase II dandora waste stabilisation ponds the largest in Africa: The case for anaerobic ponds. **Water Science Technology**, v.33(7), p.91–98, 1996.

PHILLIPI JR, A.; MALHEIROS, T.F. Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental. PHILLIPI JR, A. (org) **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, p.181-219, 2005.

PRADO, R. D. M., BRAGHIROLI, L. F., NATALE, W., CORRÊA, M. D. M., & ALMEIDA, E. D. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 26(2), 295-299, 2004.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. Editora Unesp, 2008.

PROJETO ÁGUA. **Ecosistemas aquáticos**. [www2.rantac.com.br/cardeal/ProjetoAgua.htm](http://www2.rantac.com.br/cardeal/ProjetoAgua.htm). 1998.

QADIR, M.; WICHELNS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P.G.; DRECHSEL, P.; BAHRI, A. Minhas, P.S., The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural Water Management**. v.97, p.561–568, 2010.

QIAN, Y. L.; MECHAM, B. Long term effects of recycled waste water irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal, Madison*, v. 97, p. 717-721, 2005.

QUADIR, M.; WICHELNS, D.; RASCHID-SALLY, L., MCCORNICK, P.G., DRECHSEL, P., BAHRI, A., Minhas, P.S., The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agric. Water Manage**, 97, p.561–568, 2010.

REBOUÇAS, A.C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. Bahia análise e dados**, v.13, n.especial, p. 341-345, 2003.

Resolução CONAMA Nº 430/2011 - "**Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.**" - Data da legislação: 13/05/2011 Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89

REBOLL, V., ; CERESO, M., ;ROIG, A., ;FLORS, V., ;LAPÉÑA, L.,; GARCÍA-AGUSTÍN, P. Influence of wastewater vs groundwater on young Citrus trees. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 80(10), 1441-1446, 2000.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357 "**Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.**", do Conselho Nacional do Meio Ambiente, DE 17 DE MARÇO DE 2005 Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

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

RITCHEY, K. D., COX, F. R., GALRÃO, E. Z., & YOST, R. SDisponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 21(3), 215-225. 1986.

ROSOLEM, C. A; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica na soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.9, p- 1045-1054, 1993.

SANTOS, A. P. R. Efeito da irrigação com efluente tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim Tifton 85.2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SAQQAR, M.M; PESCOD, M.B. Performance evaluation of anoxic and facultative wastewater stabilization ponds. In: INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP: WASTE STABILISATION PONDS TECHNOLOGY AND APPLICATIONS, 3., 1995, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa (Brasil): IAWA. 1995. Preprint volume.

SANDRI, D., MATSURA, E., & TESTEZLAF, R.. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.755-764, 2009.

SAQQAR, M. M., & PESCOD, M. B. Performance evaluation of anoxic and facultative wastewater stabilization ponds. **Water Science Technology**, v.33(7), p.141–145, 1996.

SCOTT, C.A.; FARUQUI, N.I.; RASCHID-SALLY, L. Wastewater use in irrigated agriculture: management challenges in developing countries. In: Scott, C.A., Faruqui, N.I., Raschid-Sally, L. (Eds.), **Wastewater Use in Irrigated Agriculture**. CABI Publishing, UK ,2004.

SEBASTIAN, S.P.; UDAYASOORIAN, C.; JAYABALAKRISHNAN, R.M.; PARAMESWARI, E, Performance of sugar cane varieties under organic amendments with poor quality irrigation water. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.3, p.1674–1684, 2009.

SHELEF, G., & ET AZOV, Y. The coming era of intensive wastewater reuse in the Mediterranean region. **Water Science Technology**, v.33(10–11), p.115–125, 1996.

SHUVAL, H.I.; YEKUTIEL, P.; FATTAL, B. An epidemiological model of the potential health risk associated with various pathogens in wastewater irrigation. **Water Science and Technology**. v.18, p.191–198, 1986.

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

SILVA FILHO, P. A. et al. Predominancia de lagoas de estabilização tipo facultativa no Nordeste brasileiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA E SAÚDE PÚBLICA, 3., Fortaleza, **Anais...** Brasília: FUNASA, p.253-257, 2007.

SIMILI, F. F.; REIS, R. A.; FURLAN. B. N.; PAZ, C. C. P.; LIMA, M.L.P.; BELLINGIERE, P. A.; Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade in vitro da matéria orgânica. **Ciências e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 474-480, 2008.

STRZEPEK, K.; BOEHLERT, B. Competition for water for the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society of Biological Sciences*. v.365, p.2927–2940, 2010.

SFREDO, G.J.; SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Girassol: nutrição mineral e adubação**. Londrina: Embrapa Soja, 1984.

SOUSA, J. T.; HENRIQUE, I. N.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. n. 1, suplemento especial, p. 90-97, 2006.

SOUSA, C. C. M. **Avaliação do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação do capim Tifton 85**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola com área de concentração em Manejo de Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H., & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. Boletim técnico, 5. 1995.

UEARA, M.Y.; VIDAL, W.L. (Org.). **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 372–377, 2010.

VON SPERLING, M. **Princípios de tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, v.3, p.196, 2002.

WERGE, M. **Ética da água**. Inform ANDES;(96):12, 2000.

WESTCOT, D.W.; Quality control of wastewater for irrigated crop production. (Water reports-10). **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome**. ISSN 1020-1203, 1997.

WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture: Report of a WHO Scientific Group. WHO **Technical Report Series** no. 778. World Health Organization, Geneva, 1989.

Yi, L. L.; Jiao, W. T.; Chen, X.; Chen, W. P. An over view of reclaimed water reuse in China. **Journal of Environmental Sciences (China)** v.23, p.1585–1593, 2011.