

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EDÉCIO JOSÉ DE SOUZA FILHO

USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E LODO NO CULTIVO DE SORGO:
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E INCIDÊNCIA
DE PRAGAS

RECIFE

2017

EDÉCIO JOSÉ DE SOUZA FILHO

USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E LODO NO CULTIVO DE SORGO:
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E INCIDÊNCIA
DE PRAGAS

Tese submetida ao curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal
de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e
Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Uso de esgoto e lodo na agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Mário Takayuki Kato.

Coorientador: Prof. Dr. Egídio Bezerra Neto

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S729u Souza Filho, Edécio José de.

Uso de esgoto doméstico tratado e lodo no cultivo de sorgo:
desenvolvimento de plantas, produção de grãos e incidência de pragas /
Edécio José de Souza Filho. - 2017.

75folhas, il., tab., abr. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. Mário Takayuki Kato.

Coorientador: Prof. Dr. Egídio Bezerra Neto.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Lodo de esgoto. 3. Reúso da água. 4. Sorgo. I. Kato,
Mário Takayuki (Orientador). II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E LODO NO CULTIVO DE
SORGO: DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS, PRODUÇÃO DE GRÃOS
E INCIDÊNCIA DE PRAGAS**

defendida por

Edécio José de Souza Filho

Considera o candidato APROVADO

Recife, 06 de dezembro de 2017

Prof. Dr. Mario Takayuki Kato – Orientador – UFPE
Prof. Dr. Egídio Bezerra Neto – Coorientador – UFRPE

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mario Takayuki Kato – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Paulo Belli – UFSC
(examinador externo)

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti – UFC
(examinador externo)

Prof.^a Dr.^a Kenia Kelly Barros da Silva – IFPE
(examinadora externa)

Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite – UFPE
(examinador externo)

A meu pai (in memoriam), com todo meu amor e gratidão aos momentos de convívio,
que de seu modo me ensinou e incentivou a alcançar os objetivos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial para minha mãe Maria Madalena da Silva, ao meu pai Edécio José de Souza (in memorian), à esposa Deyse Patricia, ao filho João Pedro e às irmãs Renata Feitosa de Souza e Roberta Silva de Souza, agradeço pelo carinho e compreensão em todas as minhas decisões.

Ao Professor Mario Kato, pela confiança, apoio, paciência, dedicação e contribuição científica durante esses longos anos.

As professoras Lourdinha Florêncio e Sávia Gavazza, pelo tempo dedicado às produções científicas, servindo de exemplo para minha formação.

Ao meu co-orientador professor Egídio Bezerra, pelas valiosas sugestões e críticas em todas as fases do experimento.

Ao professor Wanderli Leite, pelo convívio, sugestões, críticas e apoio.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), por ser minha segunda casa ao longo desses 10 anos, para sempre serei grato. A todos seus integrantes que possibilitaram a boa convivência e momentos de descontração.

A minha prima e amiga Luiza Feitosa por toda amizade, companheirismo e apoio desde sempre.

A Tamyls Lima e Marinalva Simões, pelo apoio e dedicação, não somente ao projeto reúso e sim a todas as atividades do LSA.

À Ronaldo Fonseca e Danúbia Freitas, técnicos do LSA, por todo apoio e suporte fornecido, além dos momentos de descontração.

Ao Departamento de Energia Nuclear (UFPE) por disponibilizar a casa de vegetação utilizada no experimento;

Aos colegas da estação experimental de Carpina-PE (UFRPE) pelas análises de solo; e do Laboratório de Bioquímica da Planta (UFRPE) pelas análises químicas nas plantas.

À COMPESA pelo fornecimento de efluente e lodo da estação Rio Formoso-PE.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em especial ao Dr. José Nildo Tabosa, pelo fornecimento das sementes de sorgo usadas no experimento.

À prefeitura da cidade de Petrolândia pelo apoio e disponibilização de infraestrutura para o desenvolvimento do trabalho na cidade.

Às excelentes funcionárias do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Andrea Negromonte, Claudiane Santiago e Cleide Marques, pelo profissionalismo.

Ao CNPq e FACEPE, pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

A utilização de esgoto doméstico tratado e lodo oriundos de estação de tratamento doméstico é uma prática bastante atrativa, tendo em vista a presença de nutrientes, podendo atender as necessidades das plantas.. Avaliaram-se parâmetros de crescimento (altura da planta, comprimento do colmo, diâmetro do caule e dias para o florescimento), produção de grãos (quantidade de grãos por planta e peso de 100 grãos) e bioquímicos (aminoácidos livres, prolina, proteína solúvel, clorofila A e clorofila B, nitrogênio, fósforo e potássio) em plantas de sorgo cultivadas com efluente e lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico O experimento foi realizado em uma casa de vegetação. As plantas de sorgo foram cultivadas em vasos de 10 dm³. Foram avaliados seis tratamentos com cinco repetições para cada: T1 (irrigação com água de abastecimento sem adubação), T2 (irrigação com água de abastecimento + adubação com fertilizante químico (NPK)), T3 (irrigação com água de abastecimento + adubação com lodo), T4 (irrigação com efluente sem adubação), T5 (irrigação com efluente + adubação com fertilizante químico ((NPK)) e T6 (irrigação com efluente + adubação com lodo). O efluente e o lodo utilizados foram provenientes da lagoa de estabilização e reator anaeróbio, respectivamente, O desenvolvimento das plantas e produção de grãos de sorgo utilizando efluente e lodo sob condições controladas, não apresentaram diferenças significativas quando comparadas aos tratamentos com uso de fertilizante químico. Plantas maiores foram obtidas nos tratamentos T2 (A+NPK), T3 (A+L), T4 (E) e T5 (E+P). Os maiores rendimentos em grãos foram obtidos em T2 (A+NPK), T4 (E) e T5 (E+P), apresentando valores (kg ha⁻¹) de 5.892,8, 5.570,3 e 5.543,7 respectivamente. Os tratamentos T2 (A+NPK) e T6 (E+L) apresentaram maiores concentrações de aminoácidos nas folhas das plantas, tornando os tratamentos T3 (A+L), T4 (E) e T5 (E+P) atrativos, uma vez que elevadas concentrações de aminoácidos nas folhas das plantas podem favorecer a incidência de pragas. As concentrações de prolina nas folhas das plantas cultivadas com esgoto e lodo não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com o cultivo convencional, mantendo a possibilidade de proteção mediante o stress salino.

Palavras- chave: lodo de esgoto; reúso da água; sorgo.

ABSTRACT

The use of treated domestic wastewater and sludge is a very attractive practice due to the nutrients content, which can meet the crops requirements. This study evaluated the growth parameters (plant height, trunk diameter, stem length, and time for flowering), grain production (grains per plant, and weight of 100 grains), and biochemical parameters (free amino acids, proline, soluble protein, chlorophyll-a chlorophyll-b, nitrogen, phosphorus, and potassium) in crops of sorghum cultivated with treated wastewater and sludge from domestic wastewater treatment plant. The experiment was performed in a greenhouse. Sorghum plants were grown in pots with 10 dm³. The crops were submitted to six different treatments, each treatment had five replications: (T1) irrigation with potable water; (T2) irrigation with potable water + mineral fertilizer (NPK); (T3) irrigation with potable water + organic fertilizer (sludge); (T4) irrigation with treated wastewater; (T5)) irrigation with treated wastewater + mineral fertilizer (NPK); (T6) irrigation with treated wastewater + organic fertilizer (sludge). The treated wastewater and anaerobic sludge were obtained from the stabilization pond and the anaerobic reactor, respectively. The growth of plants and production of sorghum grains using treated wastewater and sludge under controlled conditions were not significantly different in relation to the treatments with mineral fertilizer. The longest plants were provided by treatments T2, T3, T4, and T5. The highest yields of grains were obtained through T2, T4, and T5, reaching 5,892.8, 5,570.3, and 5,543.7 (kg.ha⁻¹), respectively. Treatments T2 and T6 provided the highest contents of amino acids on the leaves, what makes treatments T3, T4, and T5 more attractive, since high amino acids concentrations could favor incidence of pests. There was no significant difference to the proline contents on the leaves of plants cultivated with wastewater and sludge in comparison with the conventional cultivation, which suggests the protection through saline stress.

Keywords: sludge; sorghum; reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 - Planta após 7 dias da semeadura, antes do desbaste	34
Figura 4.2 - Casa de vegetação do DEN-UFPE.....	35
Figura 4.3 - Experimento após 7 dias do plantio.....	35
Figura 4.4 - Experimento após 50 dias de plantio	36
Figura 5.1 - Gráfico com concentração de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas das plantas.....	52
Figura 6.1 - Gráfico com concentração de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas das plantas.....	64
Figura 6.2 - Clorofila A nas folhas de sorgo	65
Figura 6.3 - Clorofila B nas folhas de sorgo.....	65
Figura 6.4 - Concentração de aminoácidos nas folhas das plantas.....	66
Figura 6.5 - concentração de prolina nas folhas das plantas	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Principais tecnologias de estabilização do lodo de esgotos	20
Tabela 4.1- Descrição dos tratamentos.....	33
Tabela 4.2 - Adubação necessária para o sorgo granífero.....	36
Tabela 4.3- Características físico-químicas do efluente utilizado.....	38
Tabela 4.4 - Características físico-químicas do lodo utilizado.....	39
Tabela 4.5 - Resultados das análises químicas do solo	41
Tabela 4.6 - Aporte de nutrientes	42
Tabela 5.1- Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	47
Tabela 5.2- Características físico-químicas do efluente utilizado.....	49
Tabela 5.3- Resultados das análises químicas do solo	50
Tabela 5.4 - Parâmetros físicos de crescimento das plantas.....	50
Tabela 5.5 - Valores médios do número de grãos por planta e peso de 100 grãos.....	54
Tabela 6.1- Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	59
Tabela 6.2 - Resultados de análises químicas no solo.....	60
Tabela 6.3 - Características físico-químicas do efluente utilizado.....	61
Tabela 6.4 - Características físico-químicas do lodo utilizado.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Al³⁺	Alumínio trocável
C	Índice de carbono
Ca²⁺	Cálcio trocável
CEes; CE	Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo
CF	Coliformes fecais
Cl⁻	Cloro
cmolc.dm⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO₂	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca de cátions
CTC_(T)	Capacidade de troca de cátions potencial
Cu²⁺	Cobre
CV	Coefficiente de variação
DBO₅	Demanda bioquímica de oxigênio a 5 dias
DesvPad	Desvio padrão
DQO	Demanda química de oxigênio
DTPA	Ácido dietilenotriaminopentacético
EDTA	Ethylenediamine tetraacetic acid (ácido etilenodiamino tetra-acético)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
Fe²⁺	Ferro
H⁺	Íon hidrogênio
H₂O	Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPA	Instituto de Pesquisas Agropecuárias de Pernambuco
K⁺	Potássio disponível
K₂O	Óxido de potássio
KCl	Cloreto de potássio
m%	Índice de saturação por alumínio
M.O.	Matéria orgânica
Mg²⁺	Magnésio
mmolc.L⁻¹	Milimol de carga por litro
Mn²⁺	Manganês

Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Na⁺	Sódio trocável
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
NH₄⁺	Amônio
NMP	Número mais provável
N-NO₂⁻	Nitrito
N-NO₃⁻	Nitrato
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Fósforo disponível
P₂O₅	Pentóxido de fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PST	Porcentagem de sódio trocável
RAS	Relação de adsorção de sódio
SB	Soma de bases
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TDH	Tempo de detenção hidráulica
T1 (A)	Tratamento sem adubação química e irrigado com água de abastecimento
T2 (A+NPK)	Tratamento com adubação química e irrigado com água de abastecimento
T3 (A+L)	Tratamento com adubação por lodo e irrigado com água de abastecimento
T4 (E)	Tratamento sem adubação e irrigado com esgoto
T5 (E+P)	Tratamento com adubação fosfatada e irrigado com esgoto
T6 (E+L)	Tratamento com adubação por lodo e irrigado com esgoto
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket (reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente)
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
WHO	World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)
Zn²⁺	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	16
2.1 Hipóteses.....	16
2.2 Objetivo Geral	16
2.3 Objetivos Específicos.....	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 Tratamento de esgoto	17
3.2 Tratamento de lodo de esgotos	19
3.3 Uso de esgoto na agricultura.....	21
3.4 Uso de lodo de esgoto na agricultura	27
3.5 Influência dos nutrientes nas plantas	29
3.6 Cultura do Sorgo	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS (GERAL)	33
4.1 Delineamento experimental	33
4.2 O cultivo do sorgo	34
4.3 Esgoto doméstico	37
4.4 Característica do lodo	38
4.5 Avaliação do solo	40
4.6 Aporte de nutrientes.....	41
4.7 Caracterização das plantas.....	42
4.8 Carboidratos	42
4.9 Clorofila a e b.....	42
4.10 Aminoácidos.....	42
5 PRODUÇÃO DE GRÃOS E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SORGO CULTIVADAS COM EFLUENTE E LODO ORIUNDOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO	43
5.1 Resumo	43

5.2 Introdução	44
5.3 Materiais e métodos.....	45
5.4 Resultados e discussão.....	48
5.4.1 Efluente	48
5.4.2 Solo.....	49
5.4.3 Características físicas de crescimento das plantas	50
5.4.4 Nutrientes nas folhas das plantas	51
5.4.5 Produção de grãos	53
5.4.6 Número de grãos e peso de 100 grãos.....	54
5.4.7. Rendimento de grãos de sorgo.....	54
5.5 Conclusões	55
6 CULTIVO DE PLANTAS DE SORGO COM USO DE ESGOTO DOMÉSTICO E LODO ORIUNDOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: RELAÇÃO ENTRE O ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS NAS FOLHAS DAS PLANTAS E A REDUÇÃO NA INCIDÊNCIA DE PRAGAS	56
6.1 Resumo	56
6.2 Introdução	56
6.3 Materiais e métodos.....	58
6.3.1 Local de estudo.....	58
6.3.2 Delineamento experimental.....	59
6.3.3 Caracterização de solo, efluente e lodo	59
6.3.4 Caracterização das plantas de sorgo	63
6.4 Resultados e discussão.....	63
6.5 Conclusão	68
7 CONCLUSÕES GERAIS	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por água de boa qualidade aumenta a cada dia devido ao crescimento populacional e desenvolvimento econômico, além de ser potencializado pela poluição dos recursos hídricos.

O reúso de água proporciona uma alternativa viável para aumentar a sua disponibilidade. Sendo uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos e auxiliando também na proteção dos recursos naturais. Das diversas modalidades de reúso, a reutilização da água na agricultura, principalmente na irrigação, apresenta-se como uma forma bastante satisfatória, uma vez que aproximadamente 70% do uso da água é para fins agrícolas (FAO, 2007).

Geralmente, os sistemas de tratamento de esgotos domésticos convencionais não têm como finalidade a remoção de nutrientes. Sendo assim, os efluentes oriundos de estações de tratamento convencionais, mesmo após serem tratados, podem oferecer o risco de eutrofização do corpo d'água receptor.

O uso de esgoto doméstico tratado na irrigação é uma técnica atrativa, pois além de ser uma fonte de água em si, a presença de nutrientes no efluente doméstico pode atender, em alguns casos, as necessidades das plantas. Entretanto deve ser realizada com precauções, devido a característica microbiológicas do efluente, para não oferecer riscos aos agricultores e consumidores finais

O lodo é outro subproduto de estação de tratamento de esgoto e, quando não destinado corretamente, pode ser nocivo ao meio ambiente. Por outro lado, tem na sua composição uma boa quantidade de matéria orgânica e nutrientes, o que torna benéfico seu uso na agricultura quando aplicado corretamente.

O sorgo (*Sorghum bicolor L.*) é uma planta de origem africana. Em alguns países do seu continente de origem, é usado na alimentação humana. No Brasil, em poucos casos, a farinha de sorgo é misturada à de trigo na fabricação de pão, entretanto o sorgo é amplamente utilizado para a alimentação de animais, apresentando boa adaptação a regiões semiáridas.

O uso de esgoto doméstico tratado na irrigação de culturas para alimentação animal é bastante recomendado, tendo em vista a menor exigência na qualidade do efluente. Sendo assim, o estudo dos efeitos nutricionais em culturas de pastagens irrigadas com efluente doméstico é importante.

Dentro dessa conjuntura, o uso de esgoto e lodo no cultivo de plantas de sorgo parece uma alternativa favorável à proteção dos recursos hídricos e à economia do uso de fertilizantes químicos. Todavia se faz necessário o estudo do efeito desse uso nas plantas e grãos de sorgo.

Dessa forma, este trabalho propõe o estudo dos efeitos em plantas e grãos de sorgo cultivados com o uso do esgoto tratado e do lodo de estação de tratamento de esgoto.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1. Hipóteses

- Plantas de sorgo irrigadas com esgoto doméstico tratado, apresentam características físicas e produção de grãos similares a plantas submetidas a adubação química;
- Plantas de sorgo cultivadas com lodo de esgoto desidratado, apresentam características físicas e produção de grãos similares a plantas submetidas a adubação química;
- Folhas de plantas de sorgo irrigadas com esgoto doméstico tratado, apresentam menores concentrações de aminoácidos livres entoque plantas irrigadas com água de abastecimento e adubadas com adubos químicos.

2.2. Objetivo Geral

Estudar os efeitos nutricionais, produtivos, de crescimento e desenvolvimento de plantas e grãos de sorgo cultivados com esgoto doméstico tratado e lodo oriundo de estação de tratamento de esgoto e avaliar parâmetros que podem favorecer a incidência de pragas.

2.3 Objetivos Específicos

- Avaliar o crescimento de plantas de sorgo cultivadas com esgoto e lodo oriundos de ETE;
- Verificar as características nutricionais de plantas de sorgo, quando cultivadas com esgoto doméstico tratado e lodo;
- Avaliar a produção de grãos de sorgo cultivados com esgoto e lodo oriundos de ETE;
- Verificar a concentração de aminoácidos nas folhas das plantas cultivadas com efluente doméstico e lodo, avaliando possibilidades de alteração no favorecimento de incidência de pragas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Tratamento de esgoto

Com o crescimento populacional, a demanda por água poderá atingir um estado em que não seja possível suprir as necessidades de toda a população. Dessa forma, questões sustentáveis a respeito da captação, utilização, reutilização e descarte de água precisam ser discutidas e colocadas em prática pela população e pelo poder público (Souza et al., 2015).

As áreas rurais brasileiras apresentam maiores déficits em esgotamento sanitário, entretanto a ausência de redes de esgotamento nas zonas urbanas também é significativa. As áreas periféricas das metrópoles apresentam níveis de eficiência muito baixos dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos.

A resolução 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes em território nacional, sendo exigida a remoção mínima de 60% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Além disso os órgãos ambientais estaduais e municipais determinam as exigências cada um em sua esfera de jurisdição. Mesmo assim, de acordo com levantamento do SNIS (2015), apenas 42% de esgoto do Brasil é tratado. Além disso, o índice de coleta de esgoto no país foi de 55% e a fração coletada não é totalmente direcionada à estação de tratamento (74% foram tratados).

O processo de autodepuração é a capacidade do corpo d'água restabelecer as condições iniciais, após o lançamento de efluentes (Sperling, 2005). O tratamento do esgoto promove a redução da matéria orgânica visando tornar mais eficiente a autodepuração.

Além disso o tratamento do esgoto promove a redução do contato com águas contaminadas e os riscos de doenças adquiridas pela presença de organismos patogênicos (Soares et al., 2002).

Sperling e Chernicharo (2000) relataram uma deficiência das tecnologias de tratamento de esgotos no Brasil. As técnicas empregadas são eficientes para a remoção de matéria orgânica (DBO e DQO) e de sólidos em suspensão, mas ineficientes em termos de remoção de amônia, nitrogênio, coliformes fecais e fósforo, apresentando efluentes tratados com concentrações incompatíveis com os padrões de qualidade. Desse modo, o corpo receptor pode ser comprometido, mesmo havendo o tratamento de esgotos.

Quando não tratados, os esgotos domésticos, ricos em matéria orgânica, nutrientes e outros elementos, sobrecarregam os corpos hídricos de poluentes que poderiam ser removidos por processos de tratamento avançados ou reutilizados na agricultura, suprimindo as necessidades nutricionais das plantas.

A população mundial está crescendo exponencialmente e o avanço da ciência tem proporcionado o aumento da expectativa de vida. A tendência é que a população e a longevidade aumentem cada vez mais. Por isso, os recursos precisam ser poupados e, em se tratando de água, a prática de reúso contribui consideravelmente para a manutenção desse recurso.

Hespanhol (2002) sugere o uso de outras fontes hídricas como alternativa para atender às demandas por água de qualidade menos nobre, como a irrigação de culturas agrícolas e direcionar as águas de melhor qualidade ao abastecimento público.

3.2 Tratamento de lodo de esgotos

No tratamento de esgotos, a carga de contaminantes presentes no afluente é concentrada no lodo. Nos estágios de separação, os organismos aderem-se às partículas de sólidos sedimentáveis (Andreoli et al., 2007).

O lodo de esgoto típico apresenta basicamente: matéria orgânica (40%), nitrogênio (4%), fósforo (2%), os demais possuem macro e micronutrientes, além de elementos potencialmente tóxicos (Bettiol e Camargo, 2006).

Sendo um subproduto gerado no tratamento de esgotos, o lodo apresenta composição variável, que vai depender do tratamento aplicado e de fatores como hábitos da população, condições sanitárias, presença de agroindústrias e da infraestrutura (Bettiol e Camargo, 2006; Andreoli et al., 2007). O lodo produzido nas estações de tratamento de esgotos oferece riscos à saúde, o que gera a necessidade do tratamento e disposição final do resíduo (Soares et al., 2002).

Quando tratado, o lodo de esgoto adquire características que permitem o uso agrícola de forma segura para a saúde e o meio ambiente. Os teores de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas como nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros, tornam o biossólido um condicionador e fertilizante do solo, podendo substituir ou, ao menos, diminuir a necessidade do uso de fertilizantes químicos (Coscione et al., 2010).

Não obstante, o uso agrícola indiscriminado torna o lodo um potencial risco à saúde pública, causando problemas de poluição do solo e proliferação de vetores de doenças (Coscione et al., 2010). Por esse motivo, as alternativas de processamento e disposição final devem priorizar a produção de um lodo de melhor qualidade, reduzindo os níveis de patogênicos e metais pesados (Tsutiya, 2000).

O manejo e a aplicação de lodo de esgoto doméstico sem estabilização e tratamento prévio podem causar a infecção de seres humanos e animais por agentes patogênicos. A infecção pode ocorrer de forma direta, pelo manuseio, ingestão ou inalação de partículas de lodo contaminado; e indireta, pelo consumo de água ou alimentos contaminados (Andreoli et al., 2007).

Os principais tipos de destinação e tratamento do lodo de esgoto que podem ser citados são: incineração, disposição em aterro sanitário, reúso industrial, recuperação de áreas degradadas, uso agrícola e florestal. Dentre essas alternativas, a última apresenta-se como uma das mais convenientes, pois a composição do lodo favorece a nutrição das plantas, apesar de requerer um cuidado adicional quanto à concentração de metais pesados, compostos persistentes e organismos patogênicos (Bettioli e Camargo, 2006).

Na incineração, apesar da redução do volume de lodo e eliminação de patogênicos e compostos orgânicos tóxicos, os metais pesados permanecem nas cinzas e precisam ser descartados. O aterro sanitário recebe as cinzas e também a maior parte do lodo gerado com características inadequadas para reutilização. Porém, em um aterro mal projetado, a disposição do lodo provoca a contaminação do ar, das águas subterrâneas, superficiais e do solo (Tsutiya, 2000; Quintana et al., 2011).

Na Tabela 1, são apresentadas as principais técnicas de estabilização do lodo de esgotos.

Tabela 3.1 - Principais tecnologias de estabilização do lodo de esgotos

Tratamento	Disposição final
Digestão (anaeróbia ou aeróbia)	Uso restrito em agricultura como condicionante e fertilizante orgânico. Geralmente é seguido por desaguamento e requer desinfecção para o uso agrícola irrestrito
Estabilização alcalina (químico)	Uso agrícola ou como cobertura de aterros
Compostagem	Adequado para viveiros, horticultura e paisagismo; Utiliza lodo desidratado
Secagem térmica	Produto com alta concentração de sólidos e de nitrogênio; livre de patógenos; uso agrícola irrestrito

Adaptado de Andreoli et al., 2007

A digestão anaeróbia mesofílica é a principal técnica de estabilização de lodo mundialmente aplicada. A compostagem é comum para resíduos sólidos municipais e é utilizada em poucas estações de tratamento de esgotos.

O grau de estabilização do lodo depende do processo de tratamento de esgotos aplicado. Em processos anaeróbios utilizando reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), o lodo produzido é totalmente estabilizado, enquanto o processo de lodos ativados convencional produz um lodo que necessita de estabilização (Andreoli et al., 2007). Os lodos biológicos provenientes de sistemas de tratamento que empregam reator UASB e lagoas de estabilização apenas requerem um desaguamento, que é promovido em leitos de secagem pelo processo natural de evaporação da água.

Alguns processos utilizados para a estabilização do lodo também podem ser aplicados para a remoção de organismos patogênicos, permitindo o uso seguro do lodo.

A compostagem é um método de decomposição aeróbia da matéria orgânica, alcançado por meio de condições controladas de temperatura, umidade, oxigênio e nutrientes. O produto obtido tem alto valor agrônômico como condicionador do solo. A inativação dos organismos ocorre por via térmica, provocada pelo aumento da temperatura quando ocorre a atividade máxima dos microrganismos. Tanto o lodo bruto quanto o digerido podem ser compostados (Andreoli et al., 2007).

A alcalinização é aplicada para o tratamento de lodos primários, secundários ou digeridos, na forma líquida ou desaguados. O processo é realizado pela adição de cal viva (CaO) ou hidratada $[Ca(OH)_2]$ ao lodo até aumentar o pH para 12, o que provoca uma redução dos organismos patogênicos e elimina os odores (Andreoli et al. 2007).

3.3 Uso de esgoto na agricultura

O esgoto caracteriza-se como uma fonte econômica de água, contendo os nutrientes adequados ao crescimento das plantas, normalmente aumentando o rendimento das culturas (Bastian e Murray, 2012).

Devido ao teor de nutrientes tais como nitrogênio e fósforo, essenciais para o cultivo de plantas, a irrigação com esgoto torna-se uma alternativa para áreas que apresentam tanto deficiência de nutrientes quanto de água (Andreoli et al., 2007).

O esgoto doméstico tratado é considerado mais adequado para o uso na agricultura, uma vez que, na maioria das vezes, os efluentes industriais são incompatíveis devido à composição química, podendo apresentar substâncias tóxicas para o homem e para os animais (Oliveira, 2012).

Além disso, a utilização de esgoto doméstico tratado para fins agrícolas permite solucionar um dos maiores problemas nos processos de tratamento: a remoção de nutrientes. Muitas vezes, os sistemas empregados não os removem, levando ao descarte excessivo destes nas águas superficiais, o que causa o fenômeno de eutrofização dos corpos hídricos.

A irrigação com esgoto tratado é uma prática conveniente, uma vez que é economicamente viável e sustentável, permitindo a conservação dos recursos hídricos a partir do reúso de esgoto tratado.

A irrigação agrícola representa, aproximadamente, 70% do consumo hídrico no mundo. Nos países em desenvolvimento, como consequência do crescimento urbano e do déficit no tratamento de esgotos domésticos, os agricultores geralmente utilizam esgoto não tratado na irrigação. Essa aplicação é feita de forma direta, dos sistemas de drenagem; ou indireta, a partir da captação de águas contaminadas pelo despejo de esgotos não tratados (Ensink, 2007).

Segundo Oliveira (2012), o uso de esgotos para irrigação aumentou, significativamente, devido à necessidade de fontes alternativas de águas, os custos elevados de fertilizantes, os riscos de saúde pública e a minimização de impactos sobre o solo se as devidas precauções forem tomadas.

Em geral, os produtores agrícolas elevam seus custos devido à necessidade de utilizar fertilizantes químicos para compensar a falta de nutrientes no solo (nitrogênio, fósforo e potássio) que se apresentam em grandes quantidades nas águas urbanas ou domésticas.

Segundo dados do IBGE (2014), no Brasil, a área plantada das principais culturas no ano de 2014 foi cerca de 76,3 milhões de hectares e a quantidade de fertilizantes entregue ao consumidor final foi de aproximadamente 14 milhões de toneladas. No período de 2010 – 2014, a quantidade de fertilizantes aumentou cerca de

4 milhões de toneladas.

No Brasil, estima-se que 60,7 milhões de hectares de terra sejam cultivados com grãos. Um levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB - mostrou o aumento de aproximadamente 2,3 milhões de hectares da área plantada em relação à última safra (CONAB, 2017).

Apesar de sua vantagem sustentável, o uso de esgoto para fins agrícolas pode representar um risco de saúde pública e ocupacional. Algumas culturas, especialmente as que são consumidas cruas ou que não são processadas industrialmente, não podem ser irrigadas com esgotos brutos. Logo, o tratamento do esgoto é necessário para assegurar a qualidade do produto e a proteção da saúde dos consumidores (Ensink, 2007).

Por outro lado, os critérios de qualidade para o reúso tornam-se um pouco menores quando aplicados a outras culturas, que são processadas antes de serem consumidas como alimento ou que são utilizadas para a produção de combustível, como a cana-de-açúcar.

Nos Estados Unidos, vários estados adotaram regulamentos para aplicação de água de reúso na irrigação de cultivos não alimentares, cujos critérios são geralmente mais flexíveis do que para culturas alimentares, permitindo que o efluente proveniente de tratamento secundário e da desinfecção seja utilizado em muitos casos (Bastian e Murray, 2012).

No Brasil, a utilização direta de esgotos na agricultura é uma prática corrente. Entretanto tal prática não deve ser feita sem o devido controle, uma vez que o tratamento de esgotos no país ainda é deficiente (SNIS, 2015).

No Brasil a resolução 121/10 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos que visa estabelecer diretrizes e critérios para o reúso não potável de água, não conseguiu definir completamente as formas de usos.

Enquanto os critérios para utilização de esgotos na agricultura não estão completamente estabelecidos na legislação brasileira, são adotados os critérios da

USEPA (*United States Environment Protection Agency*), da OMS (*Organização Mundial da Saúde*), e da norma 13969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. A NBR 13969 de 1997 relaciona a finalidade do reúso com o grau de tratamento do esgoto e parâmetros físico, químicos e biológicos. Classificando em Classes, que são elas:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.;
- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L;
- Classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxágüe das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão;
- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

As águas residuais não tratadas e/ou inadequadamente tratadas são, muitas vezes, misturadas aos corpos hídricos e utilizadas para irrigação de culturas alimentares, levando a sérias consequências para os consumidores, como doenças gastrointestinais.

As diretrizes da OMS fornecem procedimentos para minimizar os riscos de contaminação microbiana das culturas, especialmente aquelas cultivadas para consumo cru, como alface, pepino e várias frutas. Os regulamentos especificam processos de tratamento, padrões de qualidade da água e regimes de monitoramento (Bastian e Murray, 2012).

Os microrganismos patogênicos mais encontrados nos esgotos têm origem entérica e podem atingir os corpos hídricos através do depósito de fezes, esgotos domésticos e/ou pelo carreamento do solo. Os tipos de microrganismos contidos no esgoto dependem de fatores como o uso da água, poder econômico da população, incidência de doenças nos habitantes, hábitos de higiene pessoal e qualidade da água ou comida consumidas (Andreoli et al., 2007).

Dentre os microrganismos entéricos, *Escherichia coli* e helmintos são os mais preocupantes. Estudos desenvolvidos no México, Índia e Paquistão associaram a contaminação dos solos e esgotos por helmintos ao aumento de infecções humanas (Ensink 2006; Peasey 2000).

A maior parte dos patógenos não sobrevive fora do trato digestivo do hospedeiro, morrendo ou perdendo sua atividade de modo exponencial. Os mais resistentes em ambiente externo são os ovos de helmintos, que podem sobreviver por muitos anos no solo. Entretanto a transferência de helmintos do solo para as culturas é muito limitada (Bastian e Murray, 2012).

Algumas variáveis como temperatura, pH, umidade, radiação UV, tipo de plantas e folhagens ou mesmo o tipo de solo irão afetar a capacidade de sobrevivência dos microrganismos no ambiente externo ao hospedeiro. Por exemplo, algumas plantas têm uma superfície viscosa ou podem absorver patógenos do meio, favorecendo a sobrevivência destes; raízes e plantações rasteiras são mais suscetíveis à contaminação (Abaidoo, 2010).

Os níveis de contaminação por ovos de helmintos em 100 g de alface foram 0,6 ovos na colheita após irrigação com esgoto contendo mais de 10 ovos por litro; não foi detectado nenhum ovo de nematoide em alfaces irrigadas com efluente contendo menos de 0,5 ovos por litro, apesar de terem sido cultivadas em solo contendo mais de 1.200 ovos de *Ascaris* por 100 g (WHO, 2006).

De acordo com Pescod (1992), medidas de proteção à saúde devem ser aplicadas ao uso de esgoto na agricultura, tais como o tratamento adequado, a restrição de culturas, o controle da aplicação dos esgotos e da exposição humana.

O método de irrigação a ser aplicado irá depender do fornecimento de água,

clima, solo, plantação, custos de irrigação e a habilidade do agricultor em gerenciar o sistema. Contudo, quando se utiliza esgoto como fonte para a irrigação, outros fatores como a contaminação por patógenos das plantações, produtos colhidos, agricultores e o ambiente, bem como a salinidade e toxicidade, precisam ser levados em consideração.

Baseando-se em impactos à saúde, a WHO (2006) classifica os métodos em três categorias:

- Irrigação superficial (inundação e sulco) – aplica água na superfície e representa maiores riscos aos trabalhadores rurais, especialmente quando não se utiliza roupas de proteção.
- Irrigação por aspersão (pulverizador e aspersores) – métodos de irrigação aérea; apresentam o maior potencial de transferência de patógenos à superfície das culturas, uma vez que a água é aplicada na parte comestível das culturas.
- Irrigação localizada (gotejamento) – oferece maior proteção à saúde dos trabalhadores rurais e minimizam a transferência de patógenos às culturas, uma vez que a água é aplicada diretamente nas raízes.

Assim, ao considerar o uso de esgotos na agricultura, é importante identificar os principais componentes de interesse. A sensibilidade das plantas é geralmente uma função da sua tolerância aos constituintes encontrados na raiz ou depositados na folhagem; os esgotos tendem a ter concentrações mais altas desses constituintes do que as fontes de águas subterrâneas ou superficiais. Análises agronômicas para determinar a qualidade dos efluentes são recomendadas antes de implantar um programa de reúso agrícola (Bastian e Murray, 2012).

Alguns estudos têm demonstrado os efeitos da aplicação de água de reúso como uma fonte alternativa para irrigação de culturas.

Alkhamisi et al. (2011) avaliaram os efeitos para uma cultura de milho forrageiro e relataram que as plantações irrigadas com esgoto terciário de uma estação de tratamento de esgoto doméstico apresentaram maior desenvolvimento do que aquelas que foram irrigadas com água potável. Isso foi atribuído ao teor de nutrientes contidos no esgoto tratado.

Os autores obtiveram plantas de milho de maior altura irrigando com esgoto

tratado, em virtude do teor mais elevado de nitrogênio e de sulfato em relação à água potável. Enquanto no esgoto mediu-se a concentração de 29,9 mg.L⁻¹ de nitrogênio, a concentração na água potável foi de apenas 0,362 mg.L⁻¹.

O estudo também obteve maiores rendimentos em termos de matéria seca para os tratamentos com esgoto tratado, alcançando até 19,71 t ha⁻¹. As plantações irrigadas com esgoto também apresentaram maiores concentrações de proteínas do que as irrigadas com água, além de apresentarem um período menor de maturação.

3.4 Uso de lodo de esgoto na agricultura

O lodo de esgoto sanitário é uma fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas, portanto, sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura. A produção de lodos é uma característica intrínseca do tratamento de esgotos e tende a um crescimento, no mínimo, proporcional ao populacional. Os lodos de esgoto são uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente, ademais potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos (CONAMA, 2006).

A aplicação do lodo, que seria apenas mais um resíduo gerado e descartado no meio ambiente, como fertilizante para o cultivo de plantas é uma prática sustentável que permite a reciclagem de nutrientes, diminui a necessidade de extração mineral de nitrogênio, potássio e fósforo para a produção de fertilizantes minerais e contribui para a redução do descarte desse resíduo em aterros sanitários (Bueno et al. 2011; Coscione et al. 2014).

O uso incorreto desse resíduo pode contaminar o solo, as plantas e as águas superficiais e subterrâneas com nitratos, fosfatos, metais pesados e outros poluentes presentes (Bettioli e Ghini, 2011). Nesses casos, é recomendando utilizar plantas que não sejam de consumo direto para os seres humanos, como culturas de milho para silagem, girassol, plantas florestais e em atividades de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

A aplicação do lodo em solos agrícolas apresenta como principais benefícios a incorporação dos macro (N e P) e micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn e Mo). Os lodos são pobres em potássio (K), sendo necessário adicionar esse elemento ao solo sob a forma de fertilizantes minerais. Nem sempre o lodo é capaz de suprir as necessidades das

culturas; assim, é preciso conhecer a composição química do lodo e o seu comportamento após ser aplicado no solo (Bettiol e Camargo, 2006).

No entanto, para que os nutrientes estejam disponíveis, é necessário que ocorra a mineralização da matéria orgânica contida no resíduo (lodo), o que leva à necessidade da aplicação de um tratamento para promover a mineralização.

A compostagem é capaz de transformar grandes volumes de resíduo sólido urbano em material fertilizante, aditivo orgânico ao solo e substrato para culturas. Contudo existem certas limitações ao uso de alguns compostos orgânicos.

O reaproveitamento da matéria orgânica contida nos lodos de esgotos sanitários, após compostagem, para o melhoramento de solos agrícolas é uma alternativa viável para a manutenção dos níveis de matéria orgânica, bem como o melhoramento da qualidade e produtividade do solo (Paradelo et al., 2011).

Apesar do efeito positivo na fertilidade, o uso de resíduos orgânicos compostados pode contaminar o solo, caso este contenha altas concentrações de elementos tóxicos (Coscione et al., 2014).

Tzortzakis et al. (2012) estudaram o uso da fertirrigação e compostagem de resíduos sólidos urbanos para o cultivo de pimenta e fizeram comparação do uso do solo puro (controle) e misturado com diferentes teores de resíduos compostados.

Os autores observaram que a adição de resíduos sólidos no solo resultou no aumento na concentração dos nutrientes N, P, K e Na, o que altera a fertilidade do meio. As plantações cultivadas com misturas de solo e resíduos apresentaram aumento da altura das plantas e espessura do caule quando foram adicionadas as proporções de 10 e 20% de resíduo sólido. Concentrações mais altas não apresentaram diferença em comparação ao solo puro (controle).

A quantidade de bactérias (coliformes totais e *E. coli*) nas frutas não diferiu entre os tratamentos. Não foram detectadas bactérias no interior dos frutos.

Ribeirinho et al. (2012) observaram que a produtividade de sementes do girassol adubado com lodo foi equivalente à adubação mineral. Os teores foliares situaram-se na faixa adequada para macro e para micronutrientes. O uso de lodo de esgoto com

suplementação potássica foi eficiente na substituição total ou parcial de adubo mineral, sem prejudicar a produtividade da cultura do girassol.

3.5 Influência dos nutrientes nas plantas

Basicamente, treze nutrientes minerais são necessários para o crescimento das plantas. Os nutrientes minerais são divididos em dois grupos: macronutrientes (primários e secundários) e micronutrientes. (quantificar nutrientes)

Os macronutrientes primários - nitrogênio, fósforo e potássio - muitas vezes são escassos no solo, pois as plantas usam grandes quantidades. Os secundários incluem cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes - boro, cobre, ferro, cloro, manganês, molibdênio e zinco - são essenciais em pequenas quantidades. Embora sejam necessários para o crescimento das plantas, concentrações excessivas podem ser tóxicas (Bastian e Murray, 2012).

O nitrogênio é o elemento com maior valor agregado e o mais requerido pelas culturas. No lodo, o nitrogênio está presente na forma inorgânica (mineralizado) - como amônia e nitratos - e na forma orgânica - como proteínas, aminoácidos, açúcares de aminoácidos, amido, associado a polímeros, entre outros (Andreoli et al., 2007).

Dos macronutrientes, o N é o mais amplamente aplicado como fertilizante. Esse elemento, além de influenciar na produção de metabolitos secundários nas folhas das plantas, auxilia no crescimento, aumentando a produção de sementes e frutas e melhorando a qualidade das culturas de folhas e forragens (Aires et al., 2006; Ibrahim et al., 2011; Bastian e Murray, 2012).

Apesar de representar uma menor fração, as formas minerais do N são absorvidas mais rapidamente pelas plantas, enquanto que a forma orgânica é armazenada no solo e precisa ser mineralizada para que ocorra a absorção.

Alguns trabalhos evidenciaram que diferentes taxas de nitrogênio influenciaram na síntese de constituintes ativos de plantas medicinais (Karimi et al., 2013; Tavarini, , 2015).

Assim como o nitrogênio, o fósforo (P) influencia no desenvolvimento das plantas e é importante para a floração e crescimento das raízes (Bastian e Murray, 2012).

O fósforo é o nutriente limitante na produtividade em solos tropicais, tendo papel fundamental nas divisões celulares, na fotossíntese, na formação de açúcares e amidos. Além disso, esse elemento gera energia (constitui as moléculas de trifosfato de adenosina ATP) e influencia na absorção e no metabolismo de vários outros nutrientes, especialmente o nitrogênio (Novais e Smith, 1999).

Embora as plantas necessitem de poucas quantidades de fósforo, a alta capacidade do solo de fixação deste elemento intervém na sua aplicação no solo; apenas 5% - 30% do P total aplicado por fertilização química é utilizado pelas plantas. Desse modo, uma grande quantidade de fertilizantes precisa ser adicionada para suprir a necessidade das plantas (Andreoli et al., 2007).

O potássio (K) é absorvido pelas plantas em quantidades maiores do que qualquer outro elemento mineral, exceto o nitrogênio e, em alguns casos, o cálcio. O papel desse nutriente é fundamental na qualidade da fruta e na redução de doenças (Bastian e Murray, 2012). O potássio atua na ativação de enzimas, fotossíntese, absorção de nitrogênio e síntese de proteínas, sendo limitante em sistemas de utilização intensiva do solo (Simili et al., 2008).

Todos estes nutrientes podem ser obtidos a partir da aplicação de águas de reúso quando a remoção de nutrientes não é alcançada no tratamento de esgotos domésticos. Entretanto quando a remoção de nutrientes se efetiva, mesmo que o esgoto reutilizado seja aplicado em quantidades adequadas para fornecer nutrientes traços, ainda pode ser necessária a aplicação de fertilizantes (Bastian e Murray, 2012).

3.6 Cultura do Sorgo

O sorgo é uma cultura para regiões de clima quente, bastante resistente à seca e, por isso, muito utilizado em sucessão de culturas na segunda safra. Sua produção é destinada principalmente à elaboração de ração animal, sendo consumido pelas indústrias granjeiras e pecuárias. Os campos de sorgo estão distribuídos pelo centro-norte, centro-sul, Vale do São Francisco e extremo oeste, em manejos irrigado e

sequeiro, com rotação de cultura com o algodão, milho e soja (CONAB, 2017).

Por se tratar de uma planta tropical que se adapta a condições climáticas e de fertilidade do solo diversas, caracteriza-se como uma cultura mais resistente a temperaturas elevadas e déficit hídrico do que o milho, sendo recomendado o seu cultivo em regiões quentes e secas (Andrade Neto et al., 2010).

A Embrapa (2009) classifica os sorgos em quatro grupos: (i) granífero – porte baixo e adaptam-se à colheita mecânica; (ii) forrageiro para silagem e/ou sacarino – porte alto; apropriados para silagem e/ou produção de álcool e açúcar; (iii) forrageiro para pastejo/corte; e (iv) verde/fenação – são produzidas vassouras a partir de suas panículas.

Segundo estimativas da CONAB (2017), a cultura brasileira do sorgo na safra deste ano deverá ter uma área plantada de 634,1 mil hectares e produtividade de 2.952 kg ha⁻¹, com produção de 1,87 milhão de toneladas.

No estado da Paraíba, a plantação de sorgo granífero não é tradicionalmente realizada. Devido a fatores econômicos, não há interesse na produção do grão de sorgo, ficando restrito à exploração do sorgo forrageiro, que se destina à produção de silagem e feno, para o consumo dos animais. Na Bahia, culturas de sorgo ocupam 98,5 mil hectares e estima-se uma produção de 105,2 mil toneladas até o final da safra deste ano. O valor atual representa um aumento de 11,4% na área cultivada e de 18,3% na produção em relação à safra passada (CONAB, 2017).

Para que possa alcançar produtividade expressiva, a cultura do sorgo requer que suas exigências nutricionais sejam completamente supridas.

No Brasil, o cultivo do sorgo sempre esteve conectado ao desempenho do cultivo do milho (DUARTE et al., 2007). Em relação ao milho e às outras culturas de alimentação animal, o cultivo de sorgo é uma oferta sustentável de boa qualidade e baixo custo, tanto para pecuaristas como para a agroindústria de rações. O sorgo necessita menos água para o seu desenvolvimento quando comparado com outros cereais como o milho e o trigo, além de se obter maior produção que estes cereais quando em condição de estresse hídrico (MAGALHÃES et al., 2007). Santos et al. (2014) avaliaram a resposta ecofisiológica de três espécies forrageiras (milho, sorgo e braquiária) sob condições controladas de seca; dentre as espécies avaliadas, o sorgo

obteve melhor performance ecofisiológica sob restrição hídrica. Essa característica faz com que o sorgo seja uma cultura atrativa em regiões áridas e semiáridas.

O sorgo granífero é o que apresenta maior expressão econômica e pode ser utilizado de tais formas:

- Alimentação humana: em países da África e Ásia são utilizados na forma de farinha. Em algumas regiões do Nordeste brasileiro esse hábito vem sendo introduzido (QUEIROZ et al., 2014);
- Indústria: para produção de amido, farinha (podendo ser misturada com a de trigo para fabricação de pães), cerveja, cera e óleo comestível (QUEIROZ et al., 2014);
- Alimentação animal: como possui a composição semelhante à do milho, possibilita o emprego em rações, podendo ser realizada a moagem ou hidratação para aproveitamento na forma de grãos.

Também segundo MAGALHÃES et al. (2007), o ciclo do sorgo é dividido em três fases distintas. São elas:

- **Primeira fase** - etapa de crescimento da cultura: compreende o plantio até a germinação. Essa fase dura em torno de 5 dias.
- **Segunda fase** - compreende a iniciação da panícula até o florescimento. Vários processos de crescimento, se afetados, poderão comprometer o rendimento.
- **Terceira fase** - fase de crescimento: vai da floração à maturação fisiológica. Os fatores considerados mais importantes são aqueles relacionados ao enchimento de grãos.

Rabelo *et al.* (2012) avaliaram estratégias de semeadura e adubação com NPK nos parâmetros agrônômicos da cultura do sorgo. Foram estudados três tratamentos com diferentes dosagens do formulado NPK no cultivo do sorgo forrageiro; os autores relataram que a altura média das plantas e a produtividade aumentaram quando doses maiores de NPK foram aplicadas, melhorando os parâmetros agrônômicos. No cultivo do sorgo granífero, o estudo avaliou os espaçamentos e as densidades de plantio; os

pesquisadores observaram que a altura média das plantas e a produtividade foram maiores quando a densidade de plantio foi maior.

O cereal tem sido utilizado na alimentação animal, apesar de apresentar potencial também para a alimentação humana (Rodrigues Ferreira et al., 2009). Devido à versatilidade e facilidade de produção, o sorgo tem sido utilizado como base alimentar de milhões de pessoas, chegando a suprir 70% da dieta diária em algumas regiões da África (Dicko et al., 2006). Recentemente, aumentou o interesse no consumo de alimentos derivados do sorgo por se tratar de um produto sem glúten (Awika e Rooney, 2004; Paiva et al., 2015; Taylor et al., 2014; Queiroz et al., 2015)

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tem se destacado como matéria-prima para produção de etanol. O cereal, já utilizado para este fim em países como Índia, China, Austrália e África do Sul, vem sendo considerado a “cana-de-açúcar” americana e tem-se apostado nele para substituir o milho na produção de etanol (Emygdio, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS (GERAL)

4.1 Delineamento experimental

, Devido a todas unidades experimentais apresentarem memas condições ambientais, o experimento foi delineado em blocos inteiramente casualizados com seis tratamentos (Tabela 4.1) e cinco repetições para cada, com os vasos nas mesmas condições ambientais, resultando em 30 unidades experimentais. Os resultados foram avaliados estatisticamente, usando análise de variância (ANOVA). As hipóteses foram testadas e verificadas para possíveis diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O tratamento T5 (E+P) foi irrigado com o efluente tratado e realizada apenas a adubação fosfatada, porque, de acordo com a característica do efluente, as concentrações de N e K já supriam as necessidades da cultura.

Tabela 4.1- Descrição dos tratamentos

Tratamento	Descrição
T1 (A)	Irrigação com água sem fertilização química

T2 (A+NPK)	Irrigação com água + fertilização química (NPK)
T3 (A+L)	Irrigação com água + fertilização com lodo
T4 (E)	Irrigação com efluente sem fertilização química
T5 (E+P)	Irrigação com efluente + fertilização química (P)
T6 (E+L)	Irrigação com efluente + fertilização com lodo

4.2 O cultivo do sorgo

O experimento foi realizado com a variedade do sorgo granífero (cultivar IPA-7301011). Os estudos foram realizados em casa de vegetação localizada no Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE. O plantio foi realizado em vasos de 15kg (Figura 1), com 40 cm de profundidade, tendo em vista que 80% do sistema radicular da planta se encontra até 30 cm. As plantas foram obtidas mediante plantio direto no vaso, sendo semeadas três sementes por vaso. Após sete dias da emergência, foi realizado o desbaste, mantendo uma planta por vaso.

Figura 4.1 - Planta após 7 dias da semeadura, antes do desbaste



Figura 4.2 - Casa de vegetação do DEN-UFPE



A irrigação foi diária e manualmente, atingindo até 80% da capacidade de pote (CP), sendo a CP adotada como o conteúdo de água no solo, após sofrer saturação até o cessamento da drenagem (SOUZA et al., 2000). A irrigação foi controlada através de procedimento de pesagem, sendo os vasos pesados diariamente. As Figuras 3 e 4 mostram diferentes etapas do cultivo.

Figura 4.3 - Experimento após 7 dias do plantio



Figura 4.4 - Experimento após 50 dias de plantio



A adubação foi definida mediante resultados de análise de fertilidade do solo e calculada para uma densidade de 100.000 plantas/ha, sendo realizadas adubações de plantio (NPK antes da semeadura) e cobertura (Nitrogênio após 35 e 45 dias do plantio). A Tabela 2 mostra a adubação necessária de acordo IPA (2008), para o sorgo granífero.

Tabela 4.2 - Adubação necessária para o sorgo granífero

Teores presentes no solo	Adubação no plantio	Adubação de cobertura
Nitrogênio (não se exige a sua determinação)	(kg N/ha) 20	(kg N/ha) 40
Fósforo (mg P/dm³)	(kg P₂O₅/ha)	(kg P₂O₅/ha)
<11	40	-
11– 30	25	-
>30	15	-
Potássio (cmol_c K/dm³)	(kg K₂O/ha)	kg K₂O/ha)
<0,12	20	-
0,12 – 0,38	15	-
>0,38	-	-

Fonte: Adaptado de IPA (2008)

Os fertilizantes comerciais utilizados foram Sulfato de amônio (1 g/vaso no plantio e 2 g/vaso na cobertura), superfosfato simples (1,4 g/vaso no plantio) e cloreto de potássio (260 mg/vaso no plantio).

O lodo do reator UASB foi utilizado após compostagem e apresentava valores de 20,3 g kg⁻¹ de nitrogênio total, 0,9 g kg⁻¹ de potássio e 5,2 g kg⁻¹ de fósforo (Silva et al., 2016). Esse lodo foi tratado e disposto no solo de acordo com Tsutiya et al. (2002), sendo dosado em função do nitrogênio disponível. Foram utilizados 19g de lodo por vaso nos tratamentos T3 (W+S) e T6 (E+S).

As colheitas dos grãos do sorgo foram realizadas após 94 dias do plantio, sendo verificado o ponto certo de colheita através das características apresentadas pelo grão.

4.3 Esgoto doméstico

O esgoto doméstico utilizado no experimento foi oriundo da estação de tratamento de esgoto doméstico da cidade de Rio Formoso-PE. A estação de tratamento é composta por tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia); três células de reator UASB; lagoa de polimento e filtros de pedra. O sistema atende a uma população de 15.830 habitantes da cidade de Rio Formoso-PE.

Foram coletadas amostras de esgoto tratado na saída da lagoa de polimento e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFPE, em Recife, para análise, objetivando o acompanhamento da característica do efluente. As análises foram realizadas de acordo com as metodologias descritas no Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Os resultados da caracterização do efluente tratado seguem na Tabela 3.

Tabela 4.3- Características físico-químicas do efluente utilizado

Parâmetro	Unidade	Valor médio	N
pH	-	7,36	
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1021,0	
DQO	$\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$	127,4	
DBO	$\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$	40,0	
N-NTK	mg L^{-1}	19,1	
N-NH ₄ ⁺	mg L^{-1}	11,4	15
P-PO ₄ ⁻³	mg L^{-1}	2,3	
K	mg L^{-1}	12,0	
S-SO ₄ ⁻²	mg L^{-1}	31,7	
Na	mg L^{-1}	40,0	
Dureza de cálcio	$\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$	28,0	
Dureza de magnésio	$\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$	37,0	
Sólidos totais	mg L^{-1}	1332	
Sólidos totais fixos	mg L^{-1}	1060	
Sólidos totais voláteis	mg L^{-1}	272	
Sólidos suspensos totais	mg L^{-1}	80	
Sólidos suspensos fixos	mg L^{-1}	30	6
Sólidos suspensos voláteis	mg L^{-1}	50	
Sólidos dissolvidos totais	mg L^{-1}	1252	
Sólidos dissolvidos fixos	mg L^{-1}	1030	
Sólidos dissolvidos voláteis	mg L^{-1}	222	

n: número de amostras

4.4 Característica do lodo

A caracterização do lodo foi realizada por Silva et al (2016) e está apresentada na Tabela 4. O lodo foi oriundo do reator UASB, estando no leito de secagem durante três meses. o lodo desidratado foi aplicado no solo de acordo com Tsutiya et al. (2012). Sendo dosados 19 g de lodo por vaso nos tratamentos T3(A+L) e T6(E+L).

Tabela 4.4 - Características físico-químicas do lodo utilizado

Parâmetro	Unidade	Resultado
pH (em água 1:10)	-	6,4
Umidade 60-65 °C	%(m/m)	24,4
Sólidos Totais	%(m/m)	67,8
Sólidos Voláteis	%(m/m)	31,7
Carbono Orgânico	g/kg	151
Nitrogênio Kjeldahl	g/kg	20,3
Nitrogênio Amoniacal	mg/kg	1677
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg/kg	59,2
Bário	mg/kg	164
Arsênio	mg/kg	5
Potássio	mg/kg	949
Sódio	mg/kg	611
Alumínio	mg/kg	6656
Cádmio	mg/kg	2
Chumbo	mg/kg	20,7
Cobre	mg/kg	120
Cromo	mg/kg	22,8
Enxofre	g/kg	20,8
Ferro	mg/kg	20688
Fósforo	g/kg	5,2
Magnésio	g/kg	2,3
Manganês	mg/kg	191
Molibidênio	mg/kg	17,5
Níquel	mg/kg	18,3
Zinco	mg/kg	579
Coliformes termotolerantes	NMP/g	5735,15
Salmonella sp	NMP/10g	Ausente
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,11

Fonte: Silva et al (2017)

4.5 Avaliação do solo

O tipo do solo é Neossolo Quartzarênico, sendo coletado na cidade de Petrolândia-PE, localizada, aproximadamente, a 430 km da cidade do Recife, com posição geográfica determinada pelos paralelos 09° 04' 08" E e 38° 18' 11" S e de clima semiárido.

As técnicas de determinação analíticas (Tabela 4.5) foram baseadas nas metodologias descritas em: Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes da Embrapa (2009), Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2003) e Matéria Orgânica do Solo: métodos e análises, (MENDONÇA e MATOS, 2005).

Tabela 4.4 – Métodos analíticos utilizados na avaliação do solo

Parâmetros	Determinações
Fósforo	Extração com solução de Mehlich1 (HCl 0,05 mol/L + H ₂ SO ₄ 0,0125 mol/L) e determinação espectrofotométrica, através da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico produzido pela redução do molibdato com ácido ascórbico.
K e Na	Determinação com o uso do mesmo extrato obtido para o fósforo e a quantificação dos elementos será realizada por fotômetro de chama.
Ca, Mg e Al trocáveis	O Ca, o Mg e o Al trocáveis serão extraídos por KCl (1 M). Em uma fração do extrato, titula-se o Al com NaOH, na presença de azul de bromotimol como indicador. Em outra, serão titulados o Ca e o Mg por complexometria com EDTA, usando-se o indicador negro-de-eriocromo-T. Na terceira alíquota será feita a determinação de Ca por complexometria com EDTA e murexida (indicador). O Mg será obtido pela diferença entre os valores de (Ca + Mg) e Ca.
Micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn)	Extração com solução de DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético), na relação 1:2 (solo:extrator) e determinação por espectrofotometria de absorção atômica.
Matéria Orgânica	Oxidação do carbono orgânico em solução de dicromato de potássio (0,4 N) em meio ácido, na presença de uma fonte externa de calor, e determinação através da titulação do dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal (0,1 mol/L), empregando-se como indicador o ferroin (Método Walkley-Black, adaptado de Yeomans & Bremmer (1998), citado em MENDONÇA e MATOS, 2005).
Soma de bases trocáveis (S)	Calculada em cmol/dm ³ de acordo com a seguinte expressão: $S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$
pH	Determinação em água destilada na relação de 1:2,5 (solo:solução)

Os resultados das análises químicas do solo estão apresentados na Tabela 4.6. Uma vez que o valor médio do pH foi 6,71, não foi necessário fazer a correção de acidez do solo. Os valores de P e K foram 12,7 mg dm⁻³ e 0,19 mg dm⁻³, respectivamente, e serviram como base para a determinação da quantidade de fertilizantes químicos a ser adicionada em alguns dos tratamentos, a fim de manter os requisitos recomendados pelo IPA (2008).

Tabela 4.6 - Resultados das análises químicas do solo

Parâmetro	Unidade	Valor médio	Parâmetro	Unidade	Valor médio
Fe	mg dm ⁻³	18,2	Ca	mg dm ⁻³	348
Cu	mg dm ⁻³	0,57	Mg	mg dm ⁻³	64,4
Zn	mg dm ⁻³	4,10	Al	mg dm ⁻³	1,80
MO ^a	%	0,52	SB ^c	g dm ⁻³	0,491
P	mg dm ⁻³	12,7	CTC ^d	g dm ⁻³	0,489
pH	-	6,71	Na	mg dm ⁻³	4,37
K	cmol _c K dm ⁻³	0,19	RAS ^e	(mmol dm ⁻³) ^{1/2}	0,056
H ^{+b}	mg dm ⁻³	0,98			

^a MO: Matéria orgânica; ^b H⁺: Acidez potencial ^c SB: Soma de bases; ^d CEC: Capacidade de troca de cátions; ^e RAS: Razão de adsorção de sódio.

4.6 Aporte de nutrientes

Sabendo que os nutrientes foram fornecidos para as plantas através de três fontes distintas (adubação química, efluente e lodo) e baseado nos resultados das análises químicas, foi calculado o aporte de nutrientes para cada uma (Tabela 4.7).

As plantas receberam em média 35,4 litros de efluente em todo o experimento.

O uso do efluente na irrigação supriu, de acordo com o IPA (2008), a necessidade de nitrogênio e fósforo da cultura, entretanto o aporte de fósforo foi insuficiente. A adubação fosfatada do tratamento T5 (E+P) teve como finalidade compensar essa deficiência.

O aporte fornecido através do lodo não foi suficiente para suprir a demanda sugerida pelo IPA (2008). O tratamento T6 (E+L) promoveu excesso de nitrogênio e potássio no solo, além de deficiência no teor de fósforo.

Tabela 4.7 - Aporte de nutrientes

Origem	Quantidade	Concentração	Aporte
		N – P – K	N – P – K (kg/ha)
Adubação	-	-	60 – 25 – 15
Esgoto	35,4 L	19 – 2,3 – 12 (mg/L)	67,6 – 8,1 – 42,5
Lodo	19 g	20,3 – 0,9 – 5,2 (g/kg)	38,6 – 1,7 – 9,9

4.7 Caracterização das plantas

A caracterização das plantas foram realizadas após a colheita. Os parâmetros físicos das plantas foram medidos através de paquímetro (diâmetro do colmo) e trena (altura e comprimento do colmo).

Os parâmetros químicos e bioquímicos das plantas foram obtidos seguindo as recomendações de Bezerra Neto e Barreto (2011). Foram coletadas três folhas por planta, dando preferência às folhas medianas, seguindo recomendações de Malavolta et al., (1997).

4.8 Carboidratos

Inicialmente, foi preparado o extrato a partir de uma massa de 0,25 g de amostra em etanol a 80%. Um volume de 0,2 mL de cada extrato foi adicionado a um tubo de ensaio e mantido em banho de gelo. Foi adicionado a cada tubo de ensaio, hermeticamente fechado, 2,0 mL do reagente antrona; em seguida, agitou-se a mistura em banho de gelo até completa homogeneização. Os tubos foram levados ao banho-maria a 100°C e aquecidos durante 10 minutos para o desenvolvimento da cor azul esverdeada. Após resfriadas, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 620 nm.

4.9 Clorofila a e b

Amostras de folhas frescas foram pesadas e transferidas para tubos de ensaio, adicionando acetona a 80% e triturando o tecido vegetal. As amostras filtradas foram centrifugadas e levadas à leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 645 nm e 663 nm.

4.10 Aminoácidos

Para a determinação dos aminoácidos, realizou-se a extração em 0,5 g de tecido vegetal fresco, utilizando etanol a 80% como extrator. Em tubos de ensaio, foi realizada

a digestão dos extratos para desenvolvimento da cor, adicionando 0,5 mL de tampão citrato 200 mM, 1,2 mL do reagente revelador (ninidrina + KCN) e 1,0 mL da amostra, levando os tubos ao banho-maria a 100°C por 15 minutos. Após o resfriamento das amostras digeridas, adicionou-se 3,0 mL de etanol a 60% para fixação da cor violeta. Finalmente, as absorvâncias foram lidas a 570 nm em espectrofotômetro de emissão.

5 Produção de grãos e desenvolvimento de plantas de sorgo cultivadas com efluente e lodo oriundos de estação de tratamento de esgoto doméstico

5.1 Resumo

Avaliaram-se parâmetros de crescimento (altura da planta, comprimento do colmo, diâmetro do caule e dias para o florescimento) e produção de grãos (quantidade de grãos por planta e peso de 100 grãos) de plantas de sorgo cultivadas com uso de efluente e lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação. As plantas de sorgo foram cultivadas em vasos de 10 dm³, sendo irrigadas diariamente, a fim de manter a saturação do solo em 80%. O tipo de solo utilizado foi Neossolo Quartzarênico. Foram avaliados seis tratamentos com cinco repetições para cada: T1 (irrigação com água de abastecimento sem adubação), T2 (irrigação com água de abastecimento + adubação com fertilizante químico (NPK)), T3 (irrigação com água de abastecimento + adubação com lodo), T4 (irrigação com efluente sem adubação), T5 (irrigação com efluente + adubação com fertilizante químico ((NPK)) e T6 (irrigação com efluente + adubação com lodo). O efluente e o lodo utilizados foram provenientes da lagoa de estabilização e reator anaeróbio, respectivamente, de uma estação de tratamento de efluentes (ETE). Os resultados mostraram que o desenvolvimento das plantas e produção de grãos de sorgo utilizando efluente e lodo sob condições controladas, foi maior ou comparável aos tratamentos com uso de fertilizante químico. Plantas maiores foram obtidas nos tratamentos T2 (A+NPK), T3 (A+L), T4 (E) e T5 (E+PK), com valores de altura médios (cm) de 156, 154, 149 e 153 respectivamente. Os maiores rendimentos em grãos foram obtidos em T2 (A+NPK), T4 (E) e T5 (E+PK), apresentando valores (kg ha⁻¹) de 5.892,8, 5.570,3 e 5.543,7 respectivamente. As concentrações de fósforo nas folhas das plantas foram maiores para os tratamentos T2 (A+ NPK) e T5 (E+PK), com valores médios (g kg⁻¹) de 3,22 e 2,70 respectivamente. O nitrogênio variou de 8,82 - 14,85 g kg⁻¹, mas sem diferença significativa entre os tratamentos. O tratamento T5 (E+PK) apresentou o

maior valor de potássio nas folhas das plantas ($16,5 \text{ g kg}^{-1}$). Os resultados obtidos para os tratamentos T3 (A+L) (lodo) e T4 (E) (efluente) são comparáveis aos tratamentos com adição de fertilizantes químicos, T2 (A+NPK) e T5 (E+PK), demonstrando a viabilidade do uso de lodo e efluente para o cultivo do sorgo.

5.2 Introdução

O aumento da demanda por água com boa qualidade é atribuído a diversos fatores, tais como o crescimento populacional, a poluição dos recursos hídricos, o desenvolvimento econômico e o maior consumo, tornando incerta a sua disponibilidade no futuro. Na China, estima-se que 280 milhões de pessoas consomem água de má qualidade (Xinhua News, 2014). A possível escassez de água é um problema urgente, que afeta aproximadamente um terço da população mundial (Kummu et al., 2014; Hoekstra et al., 2012; Porkka et al., 2016). Índices elevados de mortalidade infantil têm sido observados em várias regiões do Brasil afetadas pela escassez hídrica (Rocha and Soares, 2015).

Apesar disso, a maior parte da água ainda é explorada por atividades agrícolas. Portanto, além da necessidade de uma melhor proteção dos recursos hídricos existentes, o reúso de água pode ser uma alternativa para a escassez, especialmente para o suprimento da demanda agrícola.

O uso de água na agricultura é responsável por aproximadamente 70% do consumo da água do planeta. O procura por alternativas eficazes no consumo agrícola é tema para diversos estudos na última década (Barros et al., 2012; Barnes, 2014; Salgado et al., 2017 no prelo; Souza Filho et al. 2017; Reznik et al., 2017; Velho et al., 2012)

A irrigação com esgoto doméstico tratado pode promover efeitos benéficos ao cultivo das plantas, devido ao teor de nutrientes, aumentando a produção (Araviadis, 2016). Além disso, a redução da descarga de efluentes, mesmo sendo tratado, contribui para a proteção dos recursos hídricos, uma vez que nitrogênio e fósforo são os principais nutrientes que causam a eutrofização dos corpos d'água (Jin et al., 2012). A assimilação de nutrientes do efluente e do lodo pelas plantas, geralmente, resulta no bom desenvolvimento das culturas, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes artificiais (Barros et al., 2012; Bastos et al., 2003; Florencio et al., 2006; Salgado et al.,

2017 no prelo). Souza Filho et al. (2017) avaliaram a irrigação do cultivo de melancia com esgoto tratado e obtiveram um aumento significativo na produtividade.

Geralmente, a quantidade de N presente no efluente é suficiente para as plantas; contudo, os níveis de P é insuficiente para atender às necessidades da maioria das cultivares (Woltersdorf et al., 2016). A disposição do lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos é também uma preocupação ambiental, entretanto, uma vez que este produto é rico em matéria orgânica e nutrientes, seu uso na agricultura é fortemente indicado após tratamento prévio (Lemainski and Silva, 2006).

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma planta originária da África e pertence à família do milho. Essa espécie tem sido vastamente utilizada na alimentação animal e tem se adaptado bem a regiões do semiárido (Dicko et al., 2006). A produção de ração animal é a atividade que mais demanda consumo de água em fazendas (Drastig et al., 2016). O uso do sorgo como forragem tem aumentado em tais regiões devido à escassez de água para irrigação (Rostamza et al., 2011; Marsalis et al., 2010; Jahanzad et al., 2013). O sorgo também é uma fonte potencial de fitoquímicos, com um papel importante na saúde humana, mas ainda subutilizado como alimento. Devido à ausência de glúten, esse cereal pode ser uma alternativa viável para substituir o trigo na fabricação de produtos para celíacos (Queiroz et al., 2014; Magalhães et al., 2007; Santos et al., 2014).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), a produção do grão de sorgo para as safras de 2015/2016 foi de 1782 kg ha⁻¹ e a previsão para 2016/2017 é de 2642 kg ha⁻¹. O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento e produção de grãos de plantas de sorgo irrigadas com efluente doméstico tratado e/ou adubadas com lodo oriundo de estação de tratamento de esgotos.

5.3 Materiais e métodos

O experimento foi realizado em uma casa de vegetação utilizando efluente e lodo de uma estação de tratamento de esgoto doméstico localizada na cidade de Rio Formoso - PE (Brasil), que atende a uma população de 15.830 habitantes. A estação é composta por unidade de tratamento preliminar, reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), lagoa de estabilização e filtros de pedra. O efluente utilizado foi coletado após

a lagoa de estabilização e o lodo da saída do reator UASB, após secagem e compostagem.

Foi utilizada a variedade de sorgo IPA-2502, que é um cultivar sacarino com dupla finalidade: produção de grãos e silagem, estando registrado no Ministério da Agricultura sob o número 0499.

O cultivo foi em vasos de 10 dm³ contendo 15 kg de solo cada. A semeadura foi com três sementes, realizada diretamente em cada pote; após sete dias, realizou-se o desbaste, resultando em uma planta por vaso. Diariamente, realizou-se a irrigação manual, até que se atingisse de 60% a 80% da saturação do solo. A irrigação foi controlada pela pesagem dos vasos. Para alguns tratamentos, foram realizadas a reposição nutricional por meio de fertilização química no momento da semeadura, com 20 kg N ha⁻¹, 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 15 kg K₂O ha⁻¹; e apenas com nitrogênio (40 kg N ha⁻¹) no momento da cobertura (35 e 45 dias após a semeadura). A adubação foi definida através de resultados das análises de fertilidade do solo, seguindo as recomendações do IPA (2008) para a cultura de sorgo.

O lodo foi tratado por compostagem e aplicado no solo de acordo com Tsutiya et al. (2012). Foram utilizados 19g de lodo por vaso, nos tratamentos T3 (W+S) e T6 (E+S). A densidade de 100.000 plantas por hectare foi adotada para os cálculos de adubação química e de lodo, seguindo recomendações de Lopes et al (2005) e Albuquerque et al (2011).

As análises físico-químicas de água e efluente foram realizadas de acordo com APHA (2012). Os parâmetros avaliados foram: pH, condutividade elétrica, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal, fósforo, potássio, sulfato, sódio, dureza de cálcio, dureza de magnésio e sólidos.

A colheita dos grãos de sorgo foram realizadas após 94 dias, de acordo com as características apresentadas pelo grão (Grão leitoso/pastoso). Os parâmetros avaliados nas plantas foram altura, diâmetro do caule, comprimento do caule, fósforo, nitrogênio, potássio e dias para o florescimento. Dias para o florescimento é o número de dias até que as panículas estivessem com as flores abertas. A altura da planta foi medida desde a

base do colmo até o topo da panícula. O comprimento do colmo foi medido desde a base do colmo até a altura do primeiro nó abaixo da inserção da panícula. Os parâmetros físicos foram medidos com o auxílio de um paquímetro e fita métrica. Os parâmetros químicos e bioquímicos das plantas foram obtidos seguindo as recomendações de Bezerra Neto e Barreto (2011). Nos grãos, foram avaliados: número de grãos por planta e peso de 100 grãos. A pesagem dos grãos foi realizada em balança analítica com quatro casas decimais.

O tipo de solo utilizado foi Neossolo Quartzarênico (Silva et al., 2001). As amostras foram coletadas na cidade de Petrolândia-PE, situada na região do semiárido. A composição granulométrica do solo natural a uma profundidade de 0 - 20 cm foi 51,4 % de areia grossa, 42,71 % de areia fina, 0,2 % de sedimentos e 5,58 % de argila. As análises químicas do solo de ferro, cobre, zinco, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, sódio e outros parâmetros foram realizadas de acordo com a EMBRAPA (2009).

O lodo do reator UASB utilizado após compostagem, apresentava valores de 20,3 g kg⁻¹ de nitrogênio total, 0,9 g kg⁻¹ de potássio e 5,2 g kg⁻¹ de fósforo (Silva et al., 2016).

O experimento foi delineado em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições para cada, com os vasos nas mesmas condições ambientais, resultando em 30 unidades experimentais (Tabela 7). Os resultados foram avaliados estatisticamente usando análise de variância (ANOVA). Finalmente, as hipóteses foram testadas e verificadas para possíveis diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.1- Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Descrição
T1 (A)	Irrigação com água sem fertilização química
T2 (A+NPK)	Irrigação com água + fertilização química (NPK)
T3 (A+L)	Irrigação com água + fertilização com lodo
T4 (E)	Irrigação com efluente sem fertilização química
T5 (E+PK)	Irrigação com efluente + fertilização química (P)
T6 (E+L)	Irrigação com efluente + fertilização com lodo

5.4 Resultados e discussão

5.4.1 Efluente

As características do efluente estão apresentadas na Tabela 8. Os valores de N, P e K foram utilizados para calcular os níveis de fertilizante químico para atender aos requisitos nutricionais da cultura. O efluente apresentou condutividade de $1021 \mu\text{S cm}^{-1}$, que está acima do limite de risco de salinização ($750 \mu\text{S cm}^{-1}$), citado por Ayers e Westcot (1976) para água destinada ao uso agrícola. Entretanto, ao longo de 94 dias de experimento, nenhum sinal de salinização do solo foi observado. Contudo é recomendado o monitoramento quando se utiliza esgoto doméstico tratado por longos períodos. O valor médio de sólidos suspensos totais (SST) foi 72 mg L^{-1} e, de acordo com Bucks et al. (1979), os efluentes com $\text{SST} < 100 \text{ mg L}^{-1}$ não oferecem um risco severo de entupimento em gotejadores. Portanto, o efluente pode ser utilizado em sistema de irrigação por gotejamento.

Tabela 5.2- Características físico-químicas do efluente utilizado

Parâmetro	Unidade	Valor médio	N
pH	-	7,36	
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1021,0	
DQO	$\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$	127,4	
DBO	$\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$	40,0	
N-NTK	mg L^{-1}	19,1	
N-NH ₄ ⁺	mg L^{-1}	11,4	15
P-PO ₄ ⁻³	mg L^{-1}	2,3	
K	mg L^{-1}	12,0	
S-SO ₄ ⁻²	mg L^{-1}	31,7	
Na	mg L^{-1}	40,0	
Dureza de cálcio	$\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$	28,0	
Dureza de magnésio	$\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$	37,0	
Sólidos totais	mg L^{-1}	1332	
Sólidos totais fixos	mg L^{-1}	1060	
Sólidos totais voláteis	mg L^{-1}	272	
Sólidos suspensos totais	mg L^{-1}	80	
Sólidos suspensos fixos	mg L^{-1}	30	6
Sólidos suspensos voláteis	mg L^{-1}	50	
Sólidos dissolvidos totais	mg L^{-1}	1252	
Sólidos dissolvidos fixos	mg L^{-1}	1030	
Sólidos dissolvidos voláteis	mg L^{-1}	222	

n: número de amostras

5.4.2 Solo

Os resultados das análises químicas do solo estão apresentados na Tabela 9. Uma vez que o valor médio do pH foi 6,71, não foi necessário fazer a correção de acidez do solo. Os valores de P e K foram $12,7 \text{ mg dm}^{-3}$ e $74,3 \text{ mg dm}^{-3}$ respectivamente, e serviram como base para a determinação da quantidade de fertilizantes químicos a ser adicionada em alguns dos tratamentos, a fim de manter os requisitos recomendados pelo IPA (2008).

Tabela 5.3- Resultados das análises químicas do solo

Parâmetro	Unidade	Valor médio	Parâmetro	Unidade	Valor médio
Fe	mg dm ⁻³	18,2	Ca	mg dm ⁻³	348
Cu	mg dm ⁻³	0,57	Mg	mg dm ⁻³	64,4
Zn	mg dm ⁻³	4,10	Al	mg dm ⁻³	1,80
MO ^a	%	0,52	SB ^c	g dm ⁻³	0,491
P	mg dm ⁻³	12,7	CTC ^d	g dm ⁻³	0,489
pH	-	6,71	Na	mg dm ⁻³	4,37
K	mg dm ⁻³	74,3	RAS ^e	(mmol dm ⁻³) ^{1/2}	0,056
H ^{+b}	mg dm ⁻³	0,98			

^a MO: Matéria orgânica; ^b H⁺: Acidez potencial ^c SB: Soma de bases; ^d CEC: Capacidade de troca de cátions; ^e RAS: Razão de adsorção de sódio.

5.4.3 Características físicas de crescimento das plantas

Resultados de medições dos parâmetros físicos de crescimento das plantas estão na Tabela 10. Foram medidas todas as plantas do experimento, sendo o número de amostra igual a 5 em todos os tratamentos.

Tabela 5.4 - Parâmetros físicos de crescimento das plantas

Parâmetro	Tratamentos					
	T1 (A)	T2 (A+NPK)	T3 (A+L)	T4 (E)	T5 (E+PK)	T6 (E+L)
Altura da planta (cm)*	137,8c	156,0a	149,6ab	154,0a	153,6a	142,7bc
Diâmetro do colmo (cm)	1,18b	1,79 ^a	1,49ab	1,74 ^a	1,74a	1,42b
Comprimento do colmo (cm)	91,9c	109,8 ^a	102,9ab	107,1 ^a	102,5a	95,6bc
Dia de florescimento (dias)**	88,8	82,4	86,4	85,2	82,8	88,6

Os valores seguidos pela mesma letra, nas mesmas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; * altura da planta no momento da colheita (94 dias).

As plantas com maiores alturas foram obtidas para os tratamentos T2 (A+NPK), T3 (A+S), T4 (E) e T5 (E+PK) com valores médios (cm) de 156, 149, 154 e 153, respectivamente. Porém não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As plantas obtidas no tratamento T1 (A) e T6 (E+L) tiveram as menores

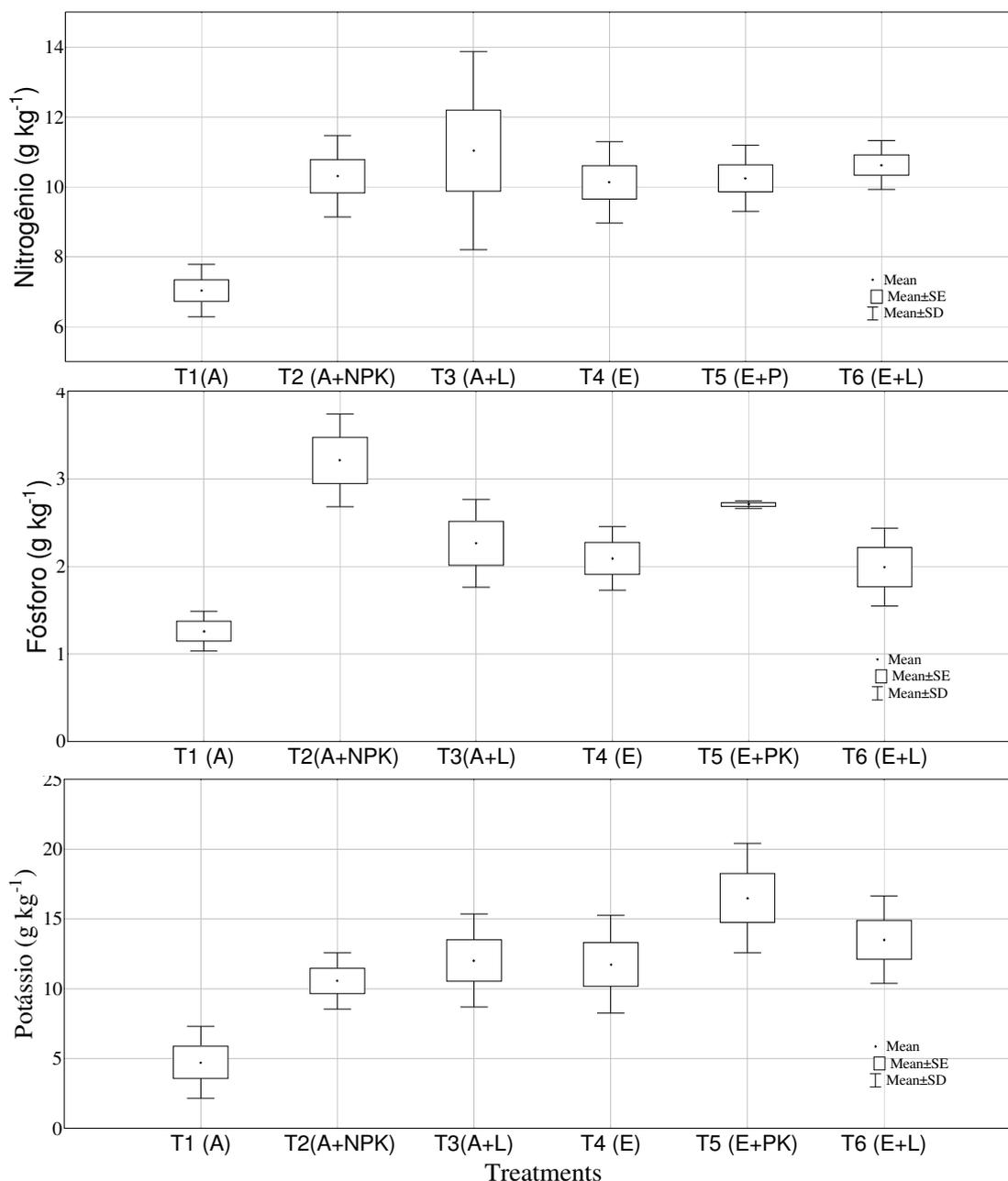
alturas (cm), 137 e 132 respectivamente (Figura 1). A menor altura observada foi em T1 (A) e pode ser explicada pela deficiência de nutrientes, uma vez que o cultivo com esse tratamento foi realizado sem nenhuma suplementação. No caso de T6 (E+L), o resultado pode ser justificado pelo excesso de nutrientes, uma vez que foi fertilizado com lodo e efluente tratado. O excesso de nutrientes pode inibir o crescimento da planta por causa do efeito no potencial osmótico do substrato, já que se utilizou a combinação de dois fertilizantes neste tratamento (Silva e Trevizan, 2015). Silva et al. (2015) encontraram maiores valores de diâmetro da planta em mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado.

Os maiores valores de diâmetro do colmo foram obtidos para os tratamentos T2 (A+NPK), T4 (E) e T5 (E+PK), encontrando-se valores de 1,80 cm, 1,74 cm e 1,74, respectivamente, com diferenças significativas, de acordo com teste de Tukey, a 5% de probabilidade, em relação a T1 (A) e T6 (E+L), com valores de 1,18 e 1,42 respectivamente. Os valores mais baixos em T1 (A) pode ser devido à deficiência de potássio, considerando a sua importância para o desenvolvimento do caule. O excesso de nutrientes em T6 (E+L), especialmente de nitrogênio, pode ter inibido a presença de potássio, causando um menor diâmetro de caule (Malavolta, 2006; Silva e Trevizan, 2015). Os valores encontrados de comprimento do colmo foram proporcionais à altura da planta, sendo os maiores valores encontrados nos tratamentos T2 (A+NPK), T3 (A+L), T4 (E) e T5 (E+PK).

5.4.4 Nutrientes nas folhas das plantas

A Figura 5 apresenta os gráficos com os resultados de análises de nitrogênio, fósforo e potássio realizados nas folhas das plantas.

Figura 5.1 - Gráfico com concentração de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas das plantas



Nitrogênio fósforo e potássio, são macronutrientes que possuem funções vitais na vida vegetal e afetam significativamente o desenvolvimento das plantas de sorgo (Ayoub et al., 2003; Almodares et al., 2008; Rodrigues et al., 2016 Shao et al., 2017). Sendo assim, as concentrações de N, P e K encontradas corroboram com os parâmetros de crescimento da planta, uma vez que as plantas dos tratamentos T2(W+NPK), T3(W+S), T4 (E) e T5(E+PK) foram as que apresentaram maior crescimento.

As maiores concentrações de fósforo foram observadas nos tratamentos T2 (A+NPK) e T5 (E+PK), com valores médios (g kg^{-1}) de 3,22 e 2,70 respectivamente. Sintomas de deficiência de fósforo incluem diminuição da altura das plantas e produção reduzida de sementes (Grant et al., 2001). Esse fato foi observado no tratamento T1 (A), em que nenhuma reposição de fósforo foi feita, resultando em altura da planta com grãos menores (ver Tabela 10), bem como menores concentrações de fósforo nas folhas das plantas. Entretanto o excesso de concentração de fósforo é prejudicial, reduzindo a disponibilidade de zinco para a planta, o que resulta em menor desenvolvimento (Corrêa et al 2002; Moreira et al., 2001). O excesso de outros nutrientes no tratamento T6 (E+L) podem ter induzido a deficiência de fósforo nas plantas (Silva and Trevizan, 2015; Salvador et al, 1999).

Os valores de nitrogênio nas folhas variaram de $8,82 \text{ g kg}^{-1}$ a $11,20 \text{ g kg}^{-1}$ sem diferença significativa entre os tratamentos T2 (A+NPK), T3 (A+L), T4 (E), T5 (E+PK) e T6 (E+L). Os resultados encontram-se na Figura 5. O tratamento T1 (A), como esperado, apresentou valores menores devido à falta de reposição nutricional. Quando absorvido, o nitrogênio pode ser assimilado pela raiz das plantas ou transportado até as folhas (Bredemeier e Mundstock, 2000). Os resultados de nitrogênio obtidos nos tratamentos com lodo e efluente (T3, T4, T6) mostraram que o transporte de nitrogênio até as folhas das plantas não apresentou diferença quando se realizou a reposição de nutrientes através de fertilização química (T2, T5).

Conforme o esperado, o tratamento T1 (A) também apresentou baixos valores de potássio nas folhas (Figura 5) e diferença significativa comparado com todos os tratamentos, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em T5 (E+P), cujo fornecimento de nutrientes foi realizado por meio de fertilização química e de nutrientes presentes no esgoto, os maiores valores de potássio foram obtidos nas folhas. A diferença foi significativa em comparação com os outros tratamentos. Silva et al. (2015) obtiveram maiores diâmetros de planta em mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado.

5.4.5 Produção de grãos

Os tratamentos T2 (W+NPK), T4 (E), T5 (E+PK) e T6 (E+S) apresentaram maiores quantidades de grãos por planta, com diferença significativa quando

comparados com os tratamentos T1 (W) e T3 (W+S). Contudo o tratamento T3 (W+S) apresentou melhores resultados que o T1 (W).

A suplementação nutricional é muito importante para obter grãos maiores e mais pesados. Uma vez que apenas T1 (A) não recebeu suplementação, este tratamento apresentou valores significativamente menores comparados aos outros tratamentos.

5.4.6 Número de grãos e peso de 100 grãos

O número de grãos por planta e a pesagem de 100 grãos estão apresentados na Tabela 11. O menor valor médio do número de grãos foi obtido em T1 (A) (1274,6 unidades). Os tratamentos T2 (A+NPK), T3 (A+L), T4 (E), T5 (E+PK) e T6 (E+S) não apresentaram diferenças pelo teste de Tukey a 5%. Do mesmo modo, os tratamentos nos quais houve reposição nutricional também não apresentaram nenhuma diferença significativa nos valores de peso de 100 grãos.

Kurai et al (2015) avaliaram quatro taxas de adubação nitrogenada (0, 63, 90 e 150 kg N ha⁻¹) na produção de grãos de sorgo, estudando duas variedades de sorgo sacarino, a variedade CSH 22SS, e também não encontraram diferença significativas no peso de 100 sementes. A variedade ICSV 93046 apenas mostrou diferença significativa com adubação nitrogenada acima de 90 kg N ha⁻¹.

Tabela 5.5 - Valores médios do número de grãos por planta e peso de 100 grãos

Parâmetro	Tratamentos					
	T1 (A)	T2(A+NPK)	T3 (A+L)	T4 (E)	T5(E+PK)	T6(E+L)
Número de grãos por planta	1274,6b	1668,4a	1453,0a	1636,4a	1605,0a	1531,6a
Peso de 100 grãos (g)	3,02b	3,53a	3,49a	3,40a	3,45a	3,31a

Os valores seguidos pela mesma letra, nas mesmas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.4.7 Rendimento de grãos de sorgo

O rendimento do cultivo de sorgo foi estimado para uma densidade da cultura de 100.000 plantas por hectare. O rendimento em T1 (A) foi o menor obtido e apresentou diferença significativa em comparação com os outros tratamentos pelo teste de Tukey a 5%. Os tratamentos T3 (A+L) e T6 (E+L) apresentaram menores valores e diferenças

significativas quando comparados aos outros; no caso de T3, isso ocorreu, possivelmente, devido à ausência de nutrientes disponíveis no lodo. No caso de T6, o uso de lodo e efluente pode ter acarretado excesso de nutrientes, que pode ter causado toxicidade às plantas (Malavolta, 2006).

5.5 Conclusões

Os nutrientes presentes no lodo e efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico são uma boa alternativa para a reposição nutricional no cultivo de sorgo, uma vez que quantidades significativas de nitrogênio, fósforo e potássio foram encontradas nas plantas. O transporte de nitrogênio para as folhas das plantas é eficiente em tratamentos com uso de efluente e lodo (T3 a T6). O tratamento com adição de NPK (T2) não apresentou diferença significativa de nutrientes nas folhas, comparado aos outros tratamentos.

Os tratamentos T2 (A+NPK), T4 (E) e T5 (E+PK) apresentaram melhores resultados com relação a características físicas das plantas (altura e diâmetro de caule), sendo T4 (E) (154 cm e 1,74 cm, respectivamente) o tratamento mais atrativo por não ter sido adicionado de fertilizantes minerais. Os valores mais baixos do tratamento T1 (A) devem-se ao fato de não ter sido realizada suplementação nutricional no cultivo de sorgo. Por outro lado, a menor eficiência do tratamento T6 (E+L) pode ser explicada pelo excesso de nutrientes, uma vez que a abundância de um elemento pode inibir a disponibilidade de outro, que também é importante para o crescimento da planta.

O uso de esgoto e lodo no cultivo de sorgo, mesmo sem adição de fertilizantes químicos, permite a produção de boas quantidades de grãos (T3 (A+L) = 1453 unidades e T4 (E) = 1636 unidades) e com peso de 100 grãos (T3 (A+L) = 3,49 g e T4 (E) = 3,40 g) similar aos grãos cultivados do modo convencional, com adição de fertilizantes químicos. Portanto, a produtividade de plantas de sorgo cultivadas com lodo e esgoto tratados é bastante atrativa.

Embora nenhuma evidência de salinização tenha sido encontrada durante o curto experimento, recomenda-se que o reúso de esgoto doméstico tratado para irrigação agrícola, seja realizado cuidadosamente em casos de longos períodos de tempo. A condutividade relativamente alta pode representar um risco de salinização do solo.

6 CULTIVO DE PLANTAS DE SORGO COM USO DE ESGOTO DOMÉSTICO E LODO ORIUNDOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: RELAÇÃO ENTRE O ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS NAS FOLHAS DAS PLANTAS E A REDUÇÃO NA INCIDÊNCIA DE PRAGAS

6.1 Resumo

O acúmulo de solutos orgânicos nas folhas das plantas pode variar de acordo com o modelo de fertilização utilizado. No presente trabalho, foram estudadas diferentes formas de suplementação nutricional em plantas de sorgo. A reposição nutricional foi testada através de seis formas de tratamentos: T1 (irrigação com água de abastecimento sem adubação), T2 (irrigação com água de abastecimento + adubação com fertilizante químico (NPK)), T3 (irrigação com água de abastecimento + adubação com lodo), T4 (irrigação com efluente sem adubação), T5 (irrigação com efluente + adubação fosfatada) e T6 (irrigação com efluente + adubação com lodo). Os tratamentos T2 e T6 apresentaram maiores concentrações de aminoácidos nas folhas das plantas, tornando os tratamentos T3, T4 e T5 atrativos, uma vez que elevadas concentrações de aminoácidos nas folhas das plantas podem favorecer a incidência de pragas. As concentrações de prolina nas folhas das plantas cultivadas com esgoto e lodo não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com o cultivo convencional, mantendo a possibilidade de proteção mediante o stress salino.

6.2 Introdução

Segundo Waquil et al. (2003), a infestação por insetos é um dos desafios que afetam a produção de sorgo. Existem pelo menos 150 espécies em todo o mundo que podem infestar a cultura, atingindo várias partes da planta em estágio de desenvolvimento e causando perdas significativas.

O sorgo é uma planta que perfilha e que poderia recuperar partes das perdas por infestação. Entretanto tal característica na lavoura acarreta florescimento não uniforme, o que é um fator determinante de alta infestação pela mosca-do-sorgo. Os danos podem ocorrer no cartucho da planta, reduzindo a área foliar. Em levantamento realizado pela EMBRAPA na região sudeste, constatou-se a incidência da lagarta-do-cartucho na

panícula no estágio de maturação dos grãos de sorgo, causando perdas na colheita. Essa espécie de lagarta apresentou a maior incidência nas culturas de sorgo monitoradas (Waquil et al., 2003).

A suplementação de nitrogênio fósforo e potássio, assim como outros fatores, influenciam diretamente na concentração final de diversas substâncias presentes nas folhas da planta (Aires et al., 2006; Barroso et al., 2018). Geralmente, na agricultura convencional, essa suplementação é realizada através da adubação química, o uso excessivo desses fertilizantes químicos podem causar disfunção da síntese proteica e do metabolismo das plantas.

A agricultura convencional tem um papel importante no atendimento às demandas alimentares da população humana, o que resulta em uma dependência do uso de fertilizantes químicos e pesticidas (Santos et al., 2012).

O nitrogênio, além de executar funções vitais na vida vegetal relacionadas com o desenvolvimento das plantas, é considerado um dos elementos essenciais para as plantas, tendo como uma das funções a síntese de diversos compostos, sendo alguns deles os aminoácidos e proteínas (Koeduka et al., 2006; Rodrigues et al., 2016).

Os aminoácidos podem estar presentes no solo em sua forma livre. Nas plantas, representam a principal fonte de nitrogênio mobilizável, cujo transporte através das membranas celulares, é necessário não só para absorção do solo, mas também para o fluxo através do floema com destino a vários tecidos da planta em desenvolvimento (Tegeder, 2012; Moe, 2013). Entretanto elevadas concentrações de aminoácidos favorecem uma maior incidência de pragas (Blüthgen and Fiedler, 2004; Mailleux et al., 2003; Völkl et al., 1999; Wackers et al., 2017). A concentração de aminoácidos nas folhas mais perceptíveis aos insetos e pragas, tornando a planta mais vulnerável, ainda é pouco conhecida. Sendo assim, mesmo uma diferença sutil no teor de aminoácidos livres pode ser significativa (Vilanova e Silva Junior, 2010). De acordo com Polito (2006), há uma estreita relação entre a nutrição mineral e a resistência da planta a patógenos, verificando-se que alguns nutrientes aumentam a severidade da incidência de doenças e pragas, enquanto outros a reduzem, devendo-se buscar uma nutrição equilibrada.

Em resposta às diferentes condições de estresse a que são submetidas, as plantas acumulam grandes quantidades de diferentes compostos orgânicos altamente solúveis que as protegem, contribuindo para o ajuste osmótico celular, proteção da membrana e estabilização de proteínas e enzimas; dentre esses compostos, está a prolina. (Hayat, 2012; Slama et al., 2015; Matysik et al., 2002; Mansour e ali, 2015).

Nesse contexto, é crescente a demanda por insumos e fertilizantes orgânicos como alternativas de fertilização do solo e fornecimento de nutrientes. Dentre as vantagens adicionais dos biofertilizantes, inclui-se uma maior vida útil, que não causa efeitos adversos ao ecossistema (Araujo et al., 2008; Raja, 2013; Sahoo et al., 2014).

O esgoto caracteriza-se como uma fonte econômica de água e de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo, adequados ao cultivo e crescimento de plantas, aumentando o rendimento das culturas. Desta forma, a irrigação com esgoto tratado torna-se uma alternativa para áreas com deficiência nutricional e/ou hídrica (Bastian e Murray, 2012).

De acordo com Oliveira (2012), o uso de esgotos domésticos na irrigação aumentou significativamente, apresentando-se como uma alternativa ao uso de fertilizantes químicos.

A aplicação do lodo de esgoto, fonte de matéria orgânica e de nutrientes, diminui a necessidade de extração mineral de nitrogênio, potássio e fósforo para a produção de fertilizantes minerais (Bueno et al. 2011; Coscione et al. 2014).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo de solutos orgânicos em plantas de sorgo cultivadas com efluente doméstico tratado e lodo. Relacionando com a possibilidade de incidência de pragas e proteção contra o stress salino.

6.3 Materiais e métodos

6.3.1 Local de estudo

O estudo foi realizado em uma casa de vegetação localizada no departamento de energia nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN-UFPE). Os efluentes e o lodo utilizados para o cultivo do sorgo foram obtidos de uma estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE) localizada na cidade de Rio Formoso - PE, que atende a uma população de 15.830 habitantes, cujo sistema é composto por unidade de tratamento

preliminar, reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), lagoa de estabilização e filtros de pedra. O efluente utilizado foi coletado no ponto após a lagoa de estabilização e o lodo foi coletado na saída do reator UASB, sendo aplicado após secagem e compostagem.

6.3.2 Delineamento experimental

O sorgo (cultivar IPA-2502) foi cultivado em vasos de 10 dm³, contendo 15 kg de solo. Foi realizada semeadura com três sementes em cada pote e o desbaste foi feito após sete dias, resultando em uma planta por vaso. A irrigação manual foi realizada diariamente até atingir 80% de saturação da capacidade do vaso. A capacidade do vaso é o conteúdo de água retida pelo solo após a sua saturação até o cessar da drenagem (Souza et al., 2000). A irrigação foi controlada pela pesagem dos vasos.

O experimento foi delineado em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições para cada, com os vasos nas mesmas condições ambientais, resultando em 30 vasos experimentais (Tabela 12). Os resultados foram avaliados estatisticamente, usando análise de variância (ANOVA). As hipóteses foram testadas e verificadas para avaliar possíveis diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6.1- Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Descrição
T1 (A)	Irrigação com água sem fertilização química
T2 (A+NPK)	Irrigação com água + fertilização química (NPK)
T3 (A+L)	Irrigação com água + fertilização com lodo
T4 (E)	Irrigação com efluente sem fertilização química
T5 (E+P)	Irrigação com efluente + fertilização química (P)
T6 (E+L)	Irrigação com efluente + fertilização com lodo

6.3.3 Caracterização de solo, efluente e lodo

A composição química do solo está apresentada na Tabela 6.2. O valor médio do pH esteve próximo à neutralidade, não sendo necessária a correção de acidez do solo.

A fertilização foi definida a partir dos resultados das análises de fertilidade do solo, seguindo as recomendações do IPA (2008) para cultura de sorgo. Os valores de P e

K serviram como base para a reposição nutricional, que foi efetuada em alguns tratamentos por meio de fertilização química na sementeira, aplicando-se 20 kg N. ha⁻¹, 25 kg P₂O₅. ha⁻¹, 15 kg K₂O.ha⁻¹ e apenas nitrogênio (40 kg N.ha⁻¹) no momento da cobertura (35 e 45 dias após a sementeira).

Tabela 6.2 - Resultados de análises químicas no solo

Parâmetro	Unidade	Valor médio	Parâmetro	Unidade	Valor médio
Fe	mg dm ⁻³	18,2	Ca	mg dm ⁻³	348
Cu	mg dm ⁻³	0,57	Mg	mg dm ⁻³	64,4
Zn	mg dm ⁻³	4,10	Al	mg dm ⁻³	1,80
MO ^a	%	0,52	SB ^c	g dm ⁻³	0,491
P	mg dm ⁻³	12,7	CTC ^d	g dm ⁻³	0,489
pH	-	6,71	Na	mg dm ⁻³	4,37
K	cmol _c K dm ⁻³	0,19	RAS ^e	(mmol dm ⁻³) ^{1/2}	0,056
H ^{+b}	mg dm ⁻³	0,98			

^a MO: Matéria orgânica; ^b H⁺: Acidez potencial ^c SB: Soma de bases; ^d CEC: Capacidade de troca de cátions; ^e RAS: Razão de adsorção de sódio.

O efluente utilizado para irrigação apresentou as características que constam na Tabela 6.3. As quantidades dosadas de fertilizante químico foram determinadas de acordo com os valores de N, P e K do efluente, a fim de atender aos requisitos nutricionais da cultura. A condutividade esteve acima do limite de risco de salinização para uso agrícola (750 μS cm⁻¹) citado por Ayers e Westcot (1976).

O valor médio de sólidos suspensos totais (SST) esteve abaixo de 100 mg L⁻¹ e, de acordo com Bucks et al. (1979), os efluentes com essa característica não oferecem um risco severo de entupimento de gotejador, podendo ser adotada a irrigação por gotejamento.

Tabela 6.3 - Características físico-químicas do efluente utilizado

Parâmetro	Unidade	Valor médio	N
pH	-	7,36	
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1021,0	
DQO	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$	127,4	
DBO	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$	40,0	
N-NTK	mg L^{-1}	19,1	
N-NH ₄ ⁺	mg L^{-1}	11,4	15
P-PO ₄ ⁻³	mg L^{-1}	2,3	
K	mg L^{-1}	12,0	
S-SO ₄ ⁻²	mg L^{-1}	31,7	
Na	mg L^{-1}	40,0	
Dureza de cálcio	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	28,0	
Dureza de magnésio	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	37,0	
Sólidos totais	mg L^{-1}	1332	
Sólidos totais fixos	mg L^{-1}	1060	
Sólidos totais voláteis	mg L^{-1}	272	
Sólidos suspensos totais	mg L^{-1}	80	
Sólidos suspensos fixos	mg L^{-1}	30	6
Sólidos suspensos voláteis	mg L^{-1}	50	
Sólidos dissolvidos totais	mg L^{-1}	1252	
Sólidos dissolvidos fixos	mg L^{-1}	1030	
Sólidos dissolvidos voláteis	mg L^{-1}	222	

n: número de amostras

A caracterização do lodo foi realizada por Silva et al (2016) e está apresentada na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Características físico-químicas do lodo utilizado

Parâmetro	Unidade	Resultado
pH (em água 1:10)	-	6,4
Umidade 60-65 °C	%(m/m)	24,4
Sólidos Totais	%(m/m)	67,8
Sólidos Voláteis	%(m/m)	31,7
Carbono Orgânico	g/kg	151
Nitrogênio Kjeldahl	g/kg	20,3
Nitrogênio Amoniacal	mg/kg	1677
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg/kg	59,2
Bário	mg/kg	164
Arsênio	mg/kg	5
Potássio	mg/kg	949
Sódio	mg/kg	611
Alumínio	mg/kg	6656
Cádmio	mg/kg	2
Chumbo	mg/kg	20,7
Cobre	mg/kg	120
Cromo	mg/kg	22,8
Enxofre	g/kg	20,8
Ferro	mg/kg	20688
Fósforo	g/kg	5,2
Magnésio	g/kg	2,3
Manganês	mg/kg	191
Molibidênio	mg/kg	17,5
Níquel	mg/kg	18,3
Zinco	mg/kg	579
Coliformes termotolerantes	NMP/g	5735,15
Salmonella sp	NMP/10g	Ausente
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,11

Adaptado de Silva et al. 2017

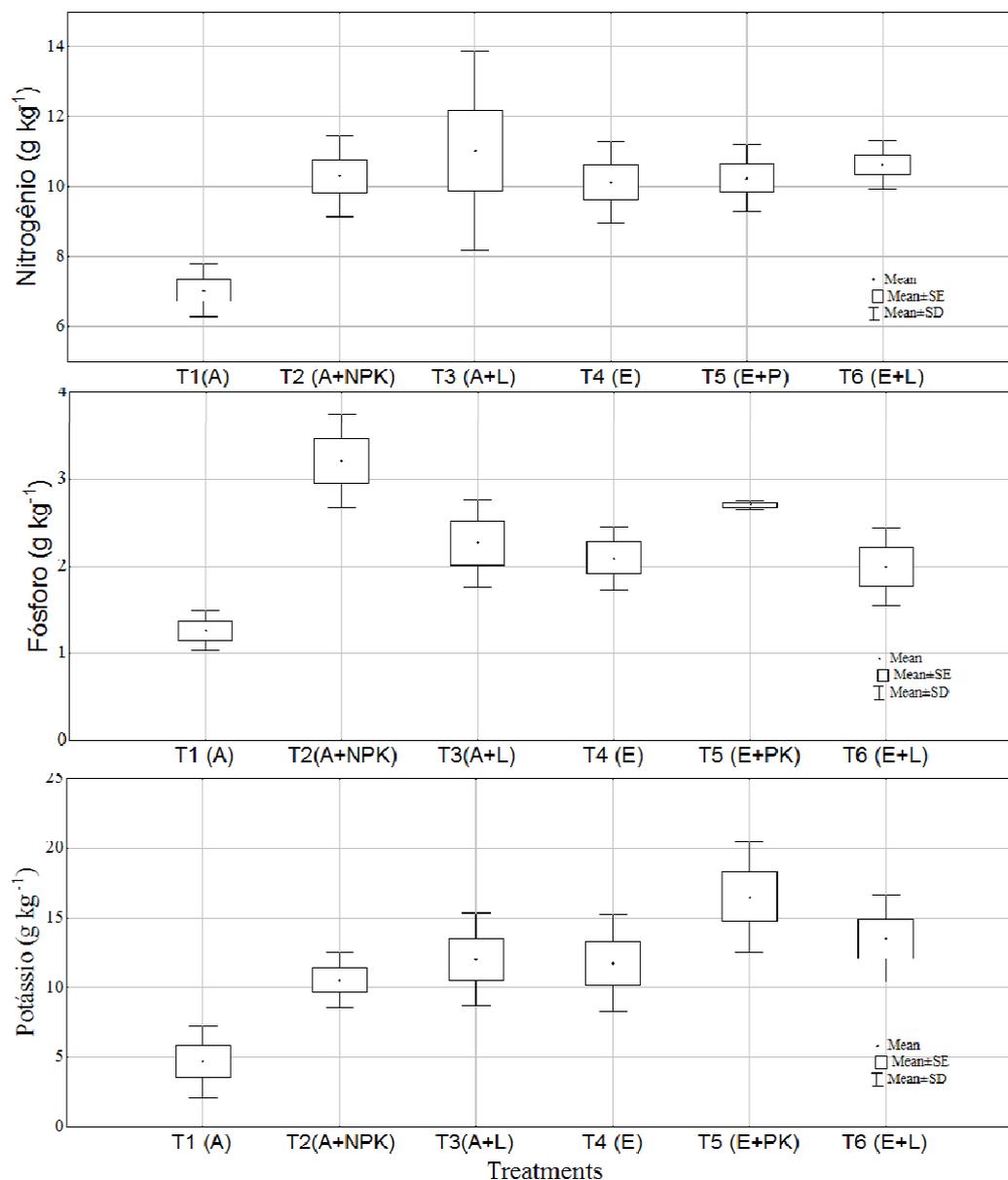
6.3.4 Caracterização das plantas de sorgo

Foram analisados aminoácidos livres, prolina e proteína solúvel, clorofila A e clorofila B. Foram coletadas três folhas por planta, dando preferência às folhas medianas, seguindo recomendações de Malavolta et al. (1997). Sendo as análises bioquímicas realizadas na matéria fresca e de acordo com Bezerra Neto e Barreto (2011).

6.4 Resultados e discussão

De acordo com Polito (2006), alguns nutrientes estão relacionados com o aumento da incidência de doenças e pragas nas plantas, enquanto outros a reduzem. Dessa forma, é importante a manutenção de uma nutrição equilibrada. Nesse sentido, a regulação de aminoácidos e a síntese de proteínas se apresentam como mecanismos de resistência fisiológica. Os resultados de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas das plantas estão representados nos gráfico da Figura 6 abaixo.

Figura 6.1 - Gráfico com concentração de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas das plantas



Conforme esperado, o acúmulo dos três nutrientes avaliados foram menores significativamente no tratamento T1(A) em comparação com os demais tratamentos.

O acúmulo de nitrogênio nos tratamentos T2(A+NPK), T3(A+L), T4(E), T5(E+P) e T6(E+L) não proporcionou diferença significativa, mostrando que o aporte desse nutriente não foi determinante nos tratamentos citados para seu acúmulo nas folhas das plantas.

O tratamento T2(A+NPK) apresentou diferença significativa no acúmulo de potássio nas folhas das plantas, quando comparado com o tratamento T5(E+P) de acordo com teste de Tukey a 5% de probabilidade. Entretanto não mostrou diferença com os tratamentos T3(A+L), T4(E) e T6(E+L).

Maiores concentrações de fósforo foram encontradas nas folhas dos tratamentos T2(A+NPK) e T5(E+P), sendo esses tratamentos os que receberam maior aporte.

A clorofila tem papel fundamental na fotossíntese, favorecendo o crescimento da planta, sendo indicador de inconformidades na saúde das folhas das plantas (Carter e Knapp, 2001; Du et al., 2017).

Os resultados de clorofila A e B obtidos de análises nas folhas das plantas estão representados nos gráficos das Figuras 7 e 8 abaixo.

Figura 6.2 - Clorofila A nas folhas de sorgo

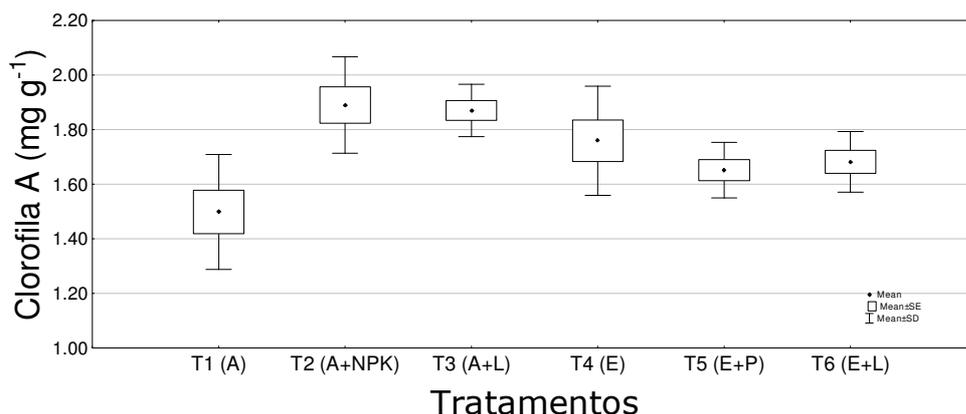
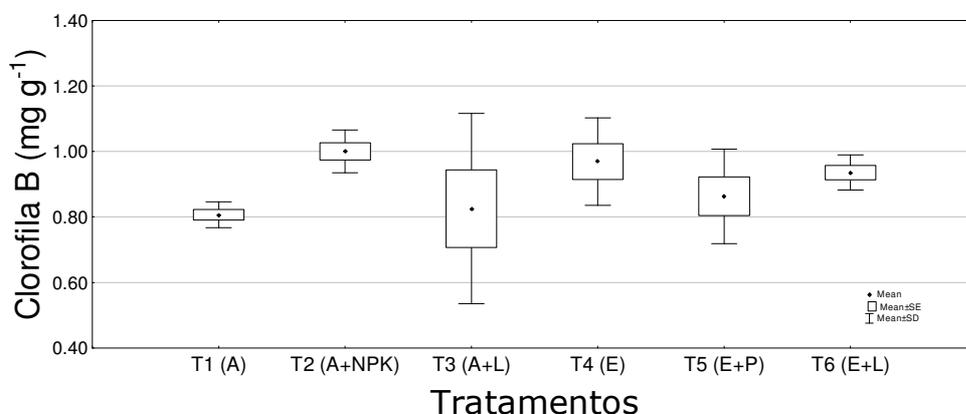


Figura 6.3 - Clorofila B nas folhas de sorgo

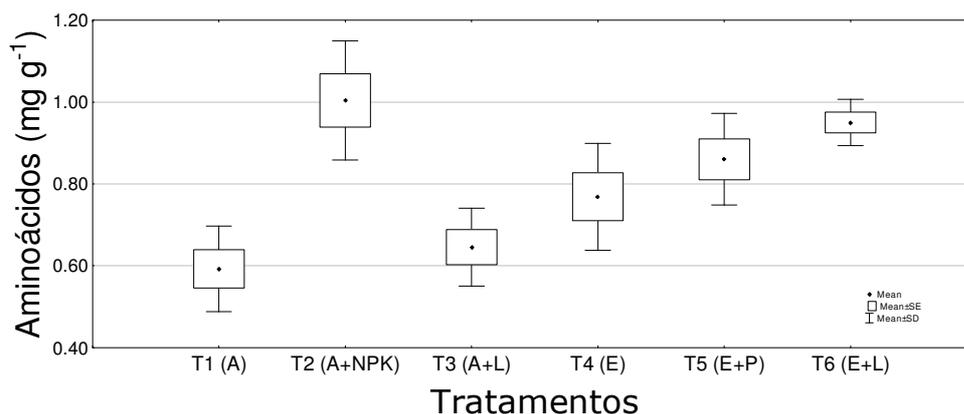


O nitrogênio é um dos compostos principais na formação da clorofila (Bezerra Neto e Barreto, 2011). Os resultados de Clorofila A corroboram com as concentrações

de nitrogênio encontradas nas folhas das plantas, havendo diferença significativa apenas entre o tratamento T1(A) e todos os demais tratamentos. Entretanto os resultados de clorofila B não mostraram diferença significativas entre todos os tratamentos.

As concentrações de aminoácidos encontrados nas folhas das plantas estão representados na Figura 9 abaixo.

Figura 6.4 - Concentração de aminoácidos nas folhas das plantas



Maiores concentrações de aminoácidos nas folhas das plantas foram encontrados nos tratamentos T2 (A+NPK) e T6 (E+L), com ambos os tratamentos apresentando diferença significativa para os demais.

A adubação química, principalmente a adubação nitrogenada, favorece a presença de aminoácidos livres nas folhas das plantas (Koeduka et al., 2006). Isso explica o fato de as plantas do tratamento T2 (A+NPK) terem apresentado maiores concentrações de aminoácidos.

As proteínas têm função importante no processo de desidratação do lodo de esgoto (Zhang et al., 2016). O triptofano é um aminoácido livre que participa da síntese desse tipo de proteína (Li et al., 2014; Li et al., 2015). Mesmo assim, o tratamento T3 (A+L) apresentou valores baixos de aminoácidos. Sendo assim, podemos atribuir ao excesso de nitrogênio oferecido ao tratamento T6 (E+L) a elevada concentração de aminoácidos neste tratamento.

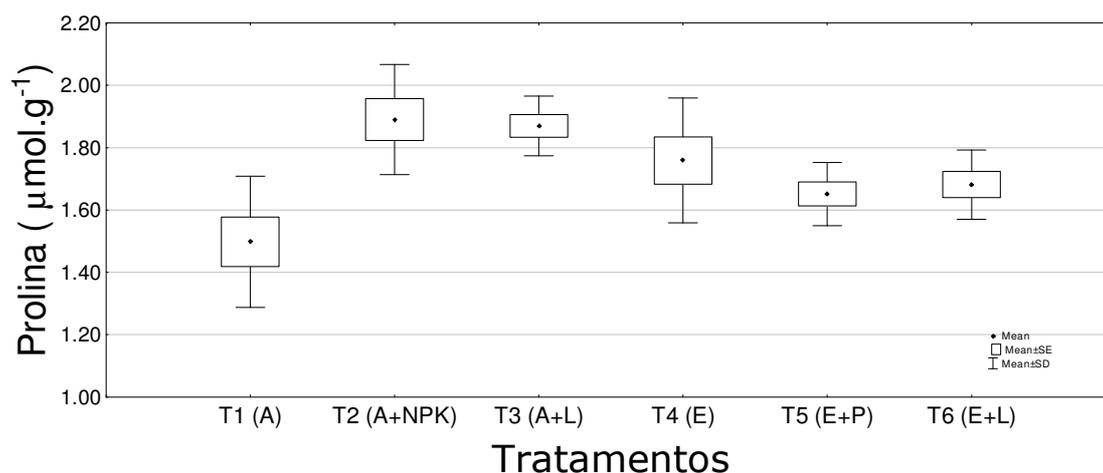
Sendo assim, podemos afirmar que os tratamentos T2(A+NPK) e T6 (E+L) podem favorecer maior incidência de pragas do que os demais tratamentos, uma vez que maiores concentrações de aminoácidos possibilita uma maior incidência de pragas

(Blüthgen and Fiedler, 2004; Maillieux et al., 2003; Völkl et al., 1999; Wackers et al., 2017).

Ibrahim et al. (2011) afirma que a manipulação dos níveis de fertilização de N pode ser um método eficaz para controlar os metabólitos secundários. Mediante as concentrações encontradas em todos os tratamentos, podemos afirmar também que as formas de disposição dos nutrientes igualmente podem influenciar nas concentrações de aminoácidos nas folhas das plantas e, conseqüentemente, diminuir a incidência de pragas. Isso porque os tratamentos T3 (A+L), T4 (E) e T5 (E+P), além de possibilitar a reposição nutricional para a planta, ainda mostraram menores valores de aminoácidos nas folhas das plantas.

Os resultados de análises de prolina estão representado no gráfico da Figura 10 a seguir:

Figura 6.5 - concentração de prolina nas folhas das plantas



Não houve diferenças significativas entre os tratamentos T2 (A+NPK), T3(A+L), T4(E), T5(E+P) e T6 (E+L). O tratamento T1(A) apresentou diferença significativa de acordo com teste de Tukey a 5% com os tratamentos T2(A+NPK), T3(A+L) e T4 (E). Podemos relacionar esse fato ao de não haver reposição nutricional no tratamento T1(A).

Reddy et al. (2015), estudando a acumulação de prolina em plantas de sorgo transgênico, confirmaram a hipótese de que a concentração de prolina encontrada contribuiu para diminuir os efeitos de stress salino e aumentou a eficiência do uso da água. Podemos concluir, assim, que a concentração de prolina nos tratamentos T2

(A+NPK), T3(A+L), T4(E), T5(E+P) e T6(E+L) pode oferecer uma proteção no caso de houver algum problema de salinização.

6.5 Conclusão

O uso da adubação química convencional proporciona uma maior concentração de aminoácidos nas folhas das plantas. Sendo essa a forma de cultivo mais suscetível a ataques de insetos e pragas quando comparada com a reposição nutricional realizada com o uso de esgoto e lodo.

A reposição nutricional realizada através de lodo e esgoto doméstico oriundos de estação de tratamento de esgoto possibilitam um acúmulo de prolina nas folhas da planta, igualmente ao cultivo convencional com adubação química. Podendo oferecer uma proteção à planta contra algum evento de stress salino.

7 CONCLUSÕES GERAIS

As características físicas das plantas apresentadas no capítulo 5, mostram que o uso de esgoto na irrigação, principalmente sem nenhuma adubação química, foi viável. Uma vez que as características físicas das plantas do tratamento T4(E), não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com o tratamento T2(A+NPK), que utiliza fertilizantes químicos. O transporte de nitrogênio para as folhas das plantas é eficiente em tratamentos com uso de efluente e lodo (T3 a T6). O tratamento com adição de NPK (T2) não apresentou diferença significativa de nutrientes nas folhas, comparado aos outros tratamentos.

O uso de esgoto e lodo no cultivo de sorgo, mesmo sem adição de fertilizantes químicos, mostrou boa produção de grãos. Não havendo diferença significativa quando comparados com cultivo do modo convencional, com adição de fertilizantes químicos. Portanto, a produtividade de plantas de sorgo cultivadas com lodo e esgoto tratados é bastante atrativa.

O tratamento T2 (A-NPK) proporcionou uma maior concentração de aminoácidos nas folhas das plantas. Podendo ser mais suscetível a ataques de insetos e pragas quando comparada com a reposição nutricional realizada com o uso de esgoto e lodo.

Os tratamentos T3 (A+L), T4(E), T5(E+P) e T6(E+L) possibilitaram um acúmulo de prolina nas folhas da planta, igualmente ao cultivo convencional (tratamento T2) com adubação química. Podendo oferecer uma proteção à planta contra algum evento de stress salino.

REFERÊNCIAS

AIRES, A.; ROSA, E.; CARVALHO, R. Effect of nitrogen and sulfur fertilization on glucosinolates in the leaves and roots of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 86, pp. 1512–1516, 2006.

AL-ISAWI, R.A.; SCHOLZ, M.; AL-FARAJ, F.M. Assessment of diesel-contaminated domestic wastewater treated by constructed wetlands for irrigation of chillies grown in a greenhouse. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 24, pp. 25003-25023, 2016.

APHA, 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd edn. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water and Environment Federation, Washington, DC.

ARAUJO, A.S.F.; SANTOS V.B.; MONTEIRO R.T.R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. **European Journal of Soil Biology**. v. 44, pp.225–230, 2008.

ARAVIADIS, R.V. The Effects of Irrigation with Treated wastewater on Crops and Human Populations – A Review. **European Journal of Engineering and Natural Sciences**. v.1, pp. 15-22, 2016.

Ayers, R.S, Westcot, D.W., 1976. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper n. 29. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome.

BARNES, J. Mixing waters: The reuse of agricultural drainage water in Egypt. **Geoforum**. v. 57, pp. 181-191, 2014

BARROS, K. K.; NASCIMENTO, C. W. A.; FLORENCIO, L. Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays* L.) irrigated with domestic effluent. **Water Science and Technology**. v. 66, p. 681-688, 2012.

BARROSO, M. R.; MARTINS, N.; BARROS, L.; ANTONIO, A. L.; RODRIGUES, M. A.; SOUSA, M. J.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R. Assessment of the nitrogen fertilization effect on bioactive compounds of frozen fresh and dried samples of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Food Chemistry**. v.243, pp. 208-213, 2018.

BASTIAN, R.; MURRAY, D. Guidelines for Water Reuse. (2012). **USEPA Office of Research and Development**, Washington, DC, EPA/600/R-12/618, 2012.

BASTOS, R. K. X (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 267 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, ed. **Embrapa Meio Ambiente** (2006) 394p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P., 2011. Análises químicas e bioquímicas em plantas, 1 ed. Recife. Editora Universitária da UFRPE. 261 p.

BLÜTHGEN, N.; FIEDLER, K. Preferences for sugars and amino acids and their conditionality in a diverse nectar-feeding ant community. **Journal of Animal Ecology**. v. 73, pp. 155–166, 2004.

BREDEMEIER, C., MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**. v. 30, pp. 365-372, 2000.

BUCKS, D.A.; NAJAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**. v. 2, pp. 149-162, 1979.

BUENO, J.R.P.; BERTON, R.S., SILVEIRA, A.P.D.; CHIBA, M.K.; ANDRADE, C.A.; DE MARIA, I.C. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 35 pp.1461-1470, 2011.

CARTER, G.A.; KNAPP, A.K. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. **American Journal of Botany**. v.88 (4), pp. 677–684, 2001.

COELHO, A.M. Cultivo do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X. Versão eletrônica - 9ª edição. 2015. Disponível em: www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/clima.htm. Acesso em: 25 out. 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – v.4. Safra 2016/17. Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-171 (2017). ISSN 2318-6852. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em agosto/2017

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho.

CORRÊA, F.L.O.; SOUZA, C.A.S.; CARVALHO, J.G.; MENDONÇA, V. Fósforo e zinco no desenvolvimento de mudas de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.24, pp. 793-796, 2002.

COSCIONE, A.R.; SILVA, L.F.M.; DE MARIA, I.C.; ANDRADE, C.A.; FERRACINI, V.L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v.38, pp. 1654-1662, 2014.

CNRH- Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal.

DICKO, M.H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A.S.; VORAGEN, A.G.J.; BERKEL, W.J.H.V. Sorghum grain as human food in Africa : relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**. v. 5, pp. 384-395, 2006.

DRASTIG, K.; PALHARES, J. C. P.; KARBACH, K.; PROCHNOW, A. Farm water productivity in broiler production: case studies in Brazil. **Journal of Cleaner Production**. n. 35, 9-19, 2016.

DU, E.; DONG, D.; ZENG, X.; SUN, Z.; JIANG, X.; VRIES, W. Direct effect of acid rain on leaf chlorophyll content of terrestrial plants in China. **Science of the Total Environment**. v.605-606, pp. 764-769, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2nd ed. Recife.

FAO. 2007.Improving agricultural practices key. Rome: FAO, 2007. Disponível em:<<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2007/1000520/>>. Acesso em: 6 mar. 2013

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. 2006. Uso do Esgotos Tratados para Produção Animal. PROSAB. Rio de Janeiro 301-330.

HAYAT, S.S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, J. Role of proline under changing environments. **Plant Signaling & Behavior**. v.7:11, pp. 1456-1466, 2012.

HOEKSTRA, A.Y.; MEKONNEN, M.M.; CHAPAGAIN, A.K.; MATHEWS, R.E.; RICHTER, B.D. Global Monthl Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. **PLoS One**. v.7, pp.1-9, 2012.

IBRAHIM, M. H.; JAAFAR, H. Z. E.; RAHMAT, A.; RAHMAN, Z. A. Effects of nitrogen fertilization on synthesis of primary and secondary metabolites in three varieties of kacip fatimah (*Labisia pumila Blume*). **International Journal of Molecular Sciences**. v. 12(8), pp. 5238–5254, 2011.

IPA - Instituto de Pesquisas Agropecuárias, 2008, Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco, 2nd edn. Recife PE.

JAHANZAD, E.; JORAT, M.; MOGHADAM, H.; SADEGHPOUR, A.; CHAICHI, M.R.; DASHTAKI, M. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. **Agricultural Water Management**. v.117, pp. 62-69, 2013.

JIN, Y.X.; DING, D.H.; FENG, C.P.; TONG, S.; SUEMURA, T.; ZHANG, F. Performance of sequencing batch biofilm reactors with different control systems in

treating synthetic municipal wastewater. **Bioresource Technology**. v.104, pp. 12–18, 2012.

KARIMI, E.; JAAFAR, H. Z. E.; AHMAD, S. Antifungal, anti-inflammatory and cytotoxicity activities of three varieties of *Labisia pumila* Benth: From microwave obtained extracts. **BMC. Complementary and Alternative Medicine**. v.13(20), pp. 1–10, 2013.

KOEDUKA, T.; FRIDMAN, E.; GANG, D. R.; VASSÃO, D. G.; JACKSON, B. L.; KISH, C. M.; PICHERSKY, E. Eugenol and isoeugenol, characteristic aromatic constituents of spices, are biosynthesized via reduction of a coniferyl alcohol ester. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v.103(26), pp. 10128–10133, 2006.

KUMMU, M.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; KONZMANN, M.; VARIS, O. Climate-driven interannual variability of water scarcity in food production potential: a global analysis. **Hydrology and Earth System Science**. v.18, pp. 447–461, 2014.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J.E. Utilização de Biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.30, pp. 741-750, 2006.

LI, W.T.; CHEN, S.Y.; XU, Z.X.; LI, Y.; SHUANG, C.D.; LI, A.M.;. Characterization of dissolved organic matter in municipal wastewater using fluorescence PARAFAC analysis and chromatography multi-excitation/emission scan: a comparative study. **Environmental Science and Technology**. v.48, 2603–2609, 2014.

Li, X.; Dai, X.; Dai, L.; Liu, Z. Two-dimensional FTIR correlation spectroscopy reveals chemical changes in dissolved organic matter during the biodrying process of raw sludge and anaerobically digested sludge. **RSC Adv**. v.5 (100), pp. 82087–82096, 2015.

MAGALHAES, P.C.; DE SOUZA, T.C.; SCHAFFERT, R.E. Cultivo do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X. Versão eletrônica -9ª edição. 2015. Disponível em: <www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/clima.htm> Acesso em: 25 out. 2017.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. 2007. Aspectos gerais dos efeitos ambientais sobre o crescimento do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**. http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_1_ed/ambientais.htm. (Accessed 28 January 2016).

MAILLEUX, A.C.; DENEUBOURG, J.L.; DETRAIN, C. Regulation of ants' foraging to resource productivity. **Proceedings of the Royal Society Biological Science**. R. Soc. B Biol. Sci. v.270, 1609–1616, 2003.

MALAVOLTA, E., 2006. Manual de Nutrição Mineral de Plantas, 1ed. São Paulo.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MANSOUR, M. M. F.; ALI, E. F. Evaluation of proline functions in saline conditions. **Phytochemistry**. v.140, 52-68, 2017.

MARSALIS, M.A.; ANGADI, S.V.; CONTRERAS-GOVEA, F.E. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. **Field Crop Research**. v.116, 52–57, 2010.

MATYSIK, J.; ALIA, A.; BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Current Science**. v.82, pp. 525-532, 2002.

MEGALI L.; GLAUSER G.; RASMANN S. Fertilization with beneficial microorganisms decreases tomato defenses against insect pests. **Agronomy for Sustainable Development**. v.34, pp.649-656, 2013,

Moe , L.A. Amino acids in the rhizosphere: from plants to microbes. **American Journal of Botany**. v.100, pp. 1692-1705, 2013.

MOREIRA, M.A.; FONTES, P.C.R.; CAMARGOS, M.L. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.36, pp. 903-909, 2001.

OLIVEIRA, E.L. Manual de Utilização de Águas Residuárias em Irrigação. 1ª Botucatu: Fepaf, 2012. 192 p.

POLITO W. (2006). The Trofobiose Theory and organic agriculture: the active mobilization of nutrients and the use of rock powder as a tool for sustainability. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78 (4), 765-779p.

PORKKA, M.; GERTEN, D.; SCHAPHOFF, S.; SIEBERT, S.; KUMMU, M. Causes and trends of water scarcity in food production. **Environmental Research Letters**. v.11, pp. 1-1, 2016.

QUEIROZ, V.A.V.; MORAES, E.A.; MARTINO, H.S.D.; PAIVA, C.L.; MENEZES, C.B. Potencial do sorgo para uso na alimentação humana. **Informe Agropecuário**. v.35, pp.7-12, 2014.

RAJA, N. Biopesticides and biofertilizers: ecofriendly sources for sustainable agriculture. **Biofertilizers and Biopesticides**. v.4, pp. 1-2, 2013.

REDDY, P.S.; JOGESWAR, G.; RASINENI, G.K.; MAHESWARI, M.; REDDY, A.R.; VARSHNEY, R.K. Proline over-accumulation alleviates salt stress and protects photosynthetic and antioxidant enzyme activities in transgenic sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Plant Physiology and Biochemistry**. v.94, pp. 104-113, 2015.

REZNIK, A.; FEINERMAN, E.; FINKELSHTAIN, I.; FISHER, F.; HUBER-LEE, A.; JOYCE, B.; KAN, I. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective. **Ecological Economics**. v. 135, p. 222-233, 2017.

ROCHA R.; SOARES R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**. n. 112 p. 72-91, 2015.

RODRIGUES FERREIRA, S. M.; LUPARELLI, P. C.; SCHIEFERDECKER, M. E. M.; VILELA, R. M. Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**. v. 59, n. 4, p. 2010.

RODRIGUES, M. A.; AFONSO, S.; FERREIRA, I. Q.; ARROBAS, M. Response of stevia to nitrogen fertilization and harvesting regime in northeastern Portugal. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.63 626-637, 2016.

ROSTAMZA, M.; CHAICHI, M.R.; JAHANSOUZ, M.R.; ALIMADADI, A.; Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum L.*) grown under different soil moisture and nitrogen levels. **Agricultural Water Management**. v.98, pp. 1607–1614, 2011.

SAHOO R.K.; ANSARI M.W.; PRADHAN M.; DANGAR T.K.; MOHANTY S.; TUTEJA N. Phenotypic and molecular characterization of efficient native Azospirillum strains from rice fields for crop improvement. **Protoplasma**. v.251, pp.943-953, 2014.

SALGADO, V. C. ; SOUZA FILHO, E. J. ; FLORENCIO, L.; GAVAZZA, S. Cultivo de melancia no semiárido irrigado com diferentes lâminas de esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 2017, no prelo.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Sintomas Visuais de Deficiências de Micronutrientes e Composição Mineral de Folhas em Mudanças de Goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, pp.1655-1662, 1999.

SANTOS, O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R.S.; LUSTOSA, B.M.; SANTOS, M.G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**. v.73, pp. 203-212, 2014.

SANTOS, V.B.; ARAUJO, S.F.; LEITE, L.F.; NUNES, L.A.; MELO, J.W. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. **Geoderma**, v.170, pp.227–231, 2012.

SILVA, A.B.; SILVA, A.C.S.; MENEZES, A.A.A.; MELLO, C.M.L.; ZENAIDE, E.S.; SILVA, F.H.B.B.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, J.C.P.; OLIVEIRA NETO, M.B.; SILVA, R.R. 2001. Mapa Exploratório - Reconhecimento de solos do município de Petrolândia - PE. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco, Embrapa Solos, Recife.

SILVA, M.L.S.; TREVIZAM, A.R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informe Agropecuário**. v.149, pp.10-16, 2015.

SILVA, R.J.; GAVAZZA, S.; NASCIMENTO, C.W.A.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T. Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 20, pp. 323-330, 2015.

SILVA, R.J.; GAVAZZA, S.; NASCIMENTO, C.W.A.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T. 2016. Uso de agua residual doméstica tratada y lodo en el cultivo de dos especies de fríjol: productividad y efectos nutricionales en los granos. In: The Fifth International Symposium on Environmental Biotechnology and Engineering. San Martin-Argentina.

SLAMA, I.; ABDELLY, C.; BOUCHEREAU, A.; FLOWERS, T.; SAVOURE, A. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. **Annals of Botany**. v.115, pp.433-447, 2015.

SOUZA FILHO, E.J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T. Influência dos níveis de adubação química em cultivo de melancia irrigado com esgoto doméstico. **Revista DAE**. v.65, n. 207, pp. 94-106, 2017.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM NETO, M.S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4, pp.338-342, 2000.

TAVARINI, S.; SGHERRI, C.; RANIERI, A. M.; ANGELINI, L. G. Effect of nitrogen fertilization and harvest time on steviol glycosides, flavonoid composition, and antioxidant properties in *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.63(31), pp.7041–7050, 2015.

TEGEDER , M.; WARD, J.M. Molecular evolution of plant AAP and LHT amino acid transporters. **Frontiers in Plant Science**. V.3, pp.1-11, 2012.

TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. 2002. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo.

VILANOVA, C.; SILVA JÚNIOR, C. D. Avaliação da trofobiose quanto às respostas ecofisiológicas e bioquímicas de couve e pimentão, sob cultivos orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.127-137, 2010.

VÖLKL, W.; WOODRING, J.; FISCHER, M.; LORENZ, M.W.; HOFFMANN, K.H. Ant-aphid mutualisms: the impact of honeydew production and honeydew sugar composition on ant preferences. **Oecologia**. V.118, pp. 483–491, 1999.

WACKERS, F. L.; ALBEROLA, J. S.; GARCIA-MARÍ, F.; PEKAS, A. Attract and distract: Manipulation of a food-mediated protective mutualism enhances natural pest control. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.246, pp. 168-174, 2017.

WAQUIL, J.M.; VIANA, P.A.; CRUZ, I. Manejo de Pragas na Cultura do Sorgo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular técnica 27. p65. . Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG. 2003. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487538/1/Circ27.pdf>> Acesso em outubro de 2017.

WOLTERS DORF, L.; SCHEIDEGGER, R.; LIEHR, S.; DOLL, P. Municipal water reuse for urban agriculture in Namibia: Modeling nutrient and salt flows as impacted by sanitation user behavior. **Journal of Environmental Management**. v.169, pp. 272-284, 2016.

XINHUA NEWS, 2014. Drinking water for 280 million residents unsafe: A report released by the Ministry of Environmental Protection of China. <http://news.xinhuanet.com/english/china/201403/14/c_133187044.htm> Acesso em maio de 2016.

YANG, C.W.; LIN, C.C.; KAO, C.H. Proline, ornithine, arginine and glutamic acid contents in detached rice leaves. **Biologia Plantarum**. v.43, pp. 305-307, 2000.

ZHANG, W.J.; CAO, B.D.; WANG, D.S.; MA, T.; XIA, H.; YU, D.H. Influence of wastewater sludge treatment using combined peroxyacetic acid oxidation and inorganic coagulants re-flocculation on characteristics of extracellular polymeric substances (EPS). **Water Research**. v. 88, pp. 728–739, 2016.