



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



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Tese de Doutorado

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES SECUNDÁRIOS NO
CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E CONCENTRAÇÃO
DE NUTRIENTES NO SOLO E NA MAMONEIRA**

MANASSÉS MESQUITA DA SILVA

**Campina Grande
Paraíba**

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

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DOUTORADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES SECUNDÁRIOS NO CRESCIMENTO,
PRODUTIVIDADE E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES
NO SOLO E NA MAMONEIRA**

TESE

MANASSÉS MESQUITA DA SILVA

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
DEZEMBRO - 2010**

UFCC/BIBLIOTECA/BC

MANASSÉS MESQUITA DA SILVA
ENGENHEIRO AGRÍCOLA

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES SECUNDÁRIOS NO CRESCIMENTO,
PRODUTIVIDADE E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES
NO SOLO E NA MAMONEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de *Doctor Scientiae* em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES:

José Dantas Neto – Doutor – UEA/CTRN/UFCG

Ênio Farias de França e Silva – Doutor – DTR/UFRPE

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

DEZEMBRO – 2010



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S856i

Silva, Manassés Mesquita da.

Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira/Manassés Mesquita da Silva. — Campina Grande, 2010.

77f.: il. col.

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

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. José Dantas Neto e Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva.

1. Ricinus communis L. 2. Reúso de água. 3. Irrigação. 4. Análise Foliar. I. Título.

CDU – 631.674.6 (043)

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG



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



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DO DOUTORANDO

Manassés Mesquita da Silva

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES SECUNDÁRIOS NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE
E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO E NA MAMONEIRA**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

José Dantas Neto
Dr. José Dantas Neto – Orientador

APROVADO

Énio Farias de França e Silva
Dr. Énio Farias de França e Silva – Orientador

APROVADO

Josivanda P. Gomes
Dra. Josivanda Palmeira Gomes – Examinadora

APROVADO

Vera Lúcia Antunes de Lima
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima – Examinadora

APROVADO

Vicente de Paulo Silva
Dr. Vicente de Paulo Silva – Examinador

APROVADO

Everaldo Paulo de Medeiros
Dr. Everaldo Paulo de Medeiros – Examinador

APROVADO

Dezembro - 2010

*A minha companheira e esposa **Waleska Rhossany**, minha querida filha **Vitória Gabrielle**, meus queridos pais, **Eri Mesquita** e **Manoel Pedro** e irmãos.*

OFEREÇO E DEDICO

iv

UFCG/BIBLIOTECA/BC

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo!

Aos meus orientadores Dr. José Dantas Neto e Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela amizade apoio e atenção sempre disponíveis.

Agradecimento especial à Dra. Josivanda Palmeira Gomes, mais que uma amiga, na verdade uma mãe que me conduziu nos primeiros passos da vida acadêmica, pessoa com a qual sempre pude contar em qualquer situação. É importante lembrar que meu ingresso no Doutorado em Engenharia Agrícola foi sugestão sua! Muito Obrigado!

À Dra. Vera Antunes de Lima pelo incentivo e amizade, desde a graduação até a pós-graduação!

À Coordenação e aos Professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, pelo apoio e oportunidade de realizar o trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa e pelo fomento a partir do projeto sob processo nº 5559452006-5.

À Estação de Agricultura Irrigada em Ibirimir, PE (EAI-UFRPE) que na pessoa do seu Diretor Marquinhos (José Marcos Lima) possibilitou minha hospedagem durante a pesquisa.

Ao Programa “Pesquisa em Movimento” da Pró-Reitoria de Pesquisa da UFRPE, pela concessão dos veículos para descolamento ao campo experimental.

À EMBRAPA Algodão que por intermédio do Dr. Odilon e Dr. Everaldo, possibilitou o descascamento e a estimativa do teor de óleo das sementes de mamona.

À querida Aldaniza, secretária da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola/UFCG, pela amizade e apoio sempre presente.

À Profa. Laércia, pelo carinho, amizade e apoio na reta final do trabalho!

Ao Prof. Dr. João Audifax pela amizade e também pelas relevantes contribuições ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Vicente de Paula, pela amizade e apoio sempre presente durante a execução do projeto.

Ao Prof. Dr. Marcos Metri, pelas colaborações, principalmente, no dia em que plantamos as sementes de mamona no campo experimental, a idéia de plantar mais uma semente no final de cada linha de plantio foi excelente!

Ao Prof. Dr. Mário Rolim, pela amizade e o apoio durante a realização trabalho!

Aos meus pais Manoel Pedro da Silva e Eri Mesquita da Silva, pela amizade, apoio, carinho, amor e incentivo nos momentos em que mais precisei!

Aos amigos: José Cleidimário, Evandro Franklin, João Batista, Magnólia, Rogério Lacerda, Lúcio Madeiros, Cícero Cordão, Ricardo Miranda, Valmir Marques, Maria Betânia pela convivência agradável durante o curso!

À Dona Sônia, secretária do DTR/UFRPE, pelos inúmeros memorandos encaminhados, e também é claro, pelos agradáveis momentos de descontração e alegria!

À minha esposa Waleska Rhossany e minha filha Vitória Gabrielle pelo porto seguro onde sempre encontrei refúgio: amo vocês!

Aos meus irmãos Marcos, Erizinha, Areli e Miquéias, que juntamente com Fúlvio, Papai e minha esposa Waleska, trabalhamos três dias consecutivos para separar e pesar as cascas e sementes da mamona, momentos simplesmente inesquecíveis! Todos trabalhando em prol da ciência!!!

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de símbolos.....	x
RESUMO GERAL	xi
GENERAL ASTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12

CAPÍTULO 1 - Efeito de lâminas de irrigação e diferentes efluentes de esgoto doméstico tratado sobre o crescimento e produtividade de mamona BRS Energia

RESUMO	16
ABSTRACT	17
INTRODUÇÃO.....	18
Objetivo geral.....	19
Hipóteses	19
Objetivos específicos.....	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

CAPÍTULO 2 - Fertirrigação da mamona cv. BRS Energia com efluentes de esgoto doméstico: fertilidade do solo e estado nutricional da planta

RESUMO	48
ABSTRACT	49
INTRODUÇÃO.....	50
Objetivo geral.....	51
Hipóteses	51
Objetivos específicos.....	51
MATERIAL E MÉTODOS.....	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
CONCLUSÃO GERAL	74
APÊNDICE	76

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Valores médios da composição textural do solo. Ibimirim-PE, 2010.	22
Tabela 2. Características químicas do solo antes do experimento. Ibimirim-PE, 2010.	22
Tabela 3. Caracterização físico-química da água de abastecimento e dos efluentes utilizados na irrigação da mamoneira. Ibimirim-PE, 2010.	26
Tabela 4. Principais características do cultivar BRS Energia.	26
Tabela 5. Coeficientes de cultivo (kc) e fases fenológicas da mamoneira.	30
Tabela 6. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para altura de plantas (AP) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ibimirim-PE, 2010.	33
Tabela 7. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para diâmetro de caule (DC) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ibimirim-PE, 2010.	35
Tabela 8. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para número de folhas (NF) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ibimirim-PE, 2010.	37
Tabela 9. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para produtividade sementes (PS), teor de óleo e fitomassa da parte aérea (FPA) ao final do experimento. Ibimirim-PE, 2010.	41

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valores médios dos fatores físico-químicos determinados para as águas utilizadas na irrigação. Ibimirim, PE, 2010.	58
Tabela 2. Aporte de nutriente ao solo via água de irrigação durante o ciclo da mamona, considerando L1=292,4 mm e L2=350,8 mm. Ibimirim-PE, 2010.	59
Tabela 3. Resumo das análises de variância e médias para fertilidade do solo (camada 0-20 cm) ao final do experimento (pH, P, K, Ca, Mg e MO). Ibimirim-PE, 2010.	64
Tabela 4. Resumo das análises de variância e de médias para N, P, K, Ca, Mg e Na nos tecidos foliares, ao final do experimento. Ibimirim-PE, 2010.	68

CAPÍTULO 1

Figura 1. Localização do experimento.	21
Figura 2. Esquema geral das instalações de coleta e tratamento de esgoto doméstico para reúso agrícola. Ibimirim-PE, 2010.	23
Figura 3. Tratamento preliminar. Ibimirim-PE, 2010.	24
Figura 4. Esquema de funcionamento do reator UASB.	24
Figura 5. Esquema de instalação e funcionamento do Decanto-Digestor associado ao Filtro Anaeróbio.	25
Figura 6. Impermeabilização das lagoas de estabilização. Ibimirim-PE, 2010.	25
Figura 7. Distribuição em campo das parcelas em blocos ao acaso.	27
Figura 8. Distribuição do sistema de irrigação em campo (A) e mamoneira nos primeiros dias de cultivo (B). Ibimirim-PE, 2010.	28
Figura 9. Estação meteorológica automática de aquisição de dados. Ibimirim-PE, 2010.	29
Figura 10. Variação temporal da altura de planta da mamoneira por tipo de água (A) e por lâmina aplicada (B). Ibimirim-PE, 2010.	34
Figura 11. Variação temporal do diâmetro de caule da mamoneira por tipo de água (A) e por lâmina aplicada (B). Ibimirim-PE, 2010.	36
Figura 12. Variação temporal do número de folhas da mamoneira por tipo de água (A) e por lâmina aplicada (B). Ibimirim-PE, 2010.	37

CAPÍTULO 2

Figura 1. Lâmina de irrigação aplicada (A) e precipitação ao longo do experimento (B). Ibimirim, PE, 2010.	59
--	----

APÊNDICE

Figura 1A. Instalação do reator UASB (A), vista da lagoa de polimento do UASB (B), vista digestor associado ao filtro anaeróbio (C) e instalação do sistema de irrigação (D). Ibimirim-PE, 2010.	76
Figura 2A. Formação primeiro racemo 31 DAG (A), racemo formado aos 86 DAG (B), germinação e emergência (C), mamona aos 44 DAG (D), acamamento devido a um temporal aos 95 DAG (E) e mamona aos 107 DAG (F). Ibimirim-PE, 2010.	77

Lista de símbolos

AA	Água de Abastecimento
AP	Altura de planta
Ca	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAG	Dias após a germinação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DC	Diâmetro do caule
DG	Decanto Digestor
DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETc	Evapotranspiração de cultivo
ETo	Evapotranspiração de referência
FA	Filtro Anaeróbio
FPA	Fitomassa parte aérea
K	Potássio
kc	Coefficiente de cultivo
LE	Lagoa de Estabilização
LP	Lagoa de Polimento
m	Saturação por Alumínio
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio total
Na	Sódio
NF	Número de folhas
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PS	Produtividade de sementes
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
S	Enxofre
UASB	Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)
V	Saturação de bases

RESUMO GERAL

IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES SECUNDÁRIOS NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO E NA MAMONEIRA

A cultura da mamona, devido à elevada necessidade de água e de nutrientes, possui características ideais para o recebimento, via irrigação, de águas residuárias de esgoto doméstico tratado. A principal vantagem desta prática é a reciclagem de água e nutrientes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar, por meio de experimento em condições de campo, o efeito de três configurações de tratamento de esgoto doméstico, água de abastecimento e lâminas de irrigação sobre o crescimento, produtividade, estado nutricional da planta e fertilidade do solo ao final do experimento. O delineamento estatístico utilizado foi blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições. Os fatores de estudo foram quatro tipos de água (A1 - Efluente do reator UASB + Lagoa de polimento; A2 - Efluente do Decanto-Digestor + Filtro anaeróbio + Lagoa de estabilização; A3 - Efluente do Filtro anaeróbio + Lagoa de estabilização e A4 - Água de abastecimento) e duas lâminas de irrigação (L1=100 e L2=120% da Evapotranspiração de cultivo). A água foi aplicada utilizando um sistema de irrigação localizada por gotejamento com irrigações a cada três dias. Avaliaram-se altura de planta, diâmetro caulinar e número de folhas aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ao final do experimento foram obtidos a produtividade de sementes, fitomassa aérea, estado nutricional das plantas e a fertilidade do solo. Com base nos resultados concluiu-se que as plantas irrigadas com o efluente tratado apresentaram crescimento e produtividade de sementes significativamente iguais, porém superiores às plantas irrigadas com água de abastecimento. O teor de óleo das sementes foi maior para as plantas irrigadas com 120% da ETc. Em relação ao solo, constatou-se que os teores de P, K e Na no solo não diferiram estatisticamente, para as três configurações de tratamento de água residuária. Por meio da análise foliar da mamoneira, constatou-se que, de maneira geral, a planta não sofreu restrições quanto aos teores de P, Ca e Mg. As concentrações de N, K e Na nos tecidos foliares foram significativamente iguais, para as plantas irrigadas com efluente tratado. Os resultados obtidos permitem considerar que é promissor o aproveitamento de efluentes de esgoto doméstico tratado em cultivos agrícolas.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L., reúso de água, irrigação, análise foliar

GENERAL ASTRACT

SECONDARY EFFLUENT IRRIGATION IN THE GROWTH, YIELD AND NUTRIENT CONCENTRATIONS IN THE SOIL AND IN THE *Ricinus communis* L.

Castor bean cultivation, due to the high water and nutrients consumption, presents the ideal characteristics for receiving wastewater from treated sewage. Economics of fertilizer, recycling of water and nutrients and increased productivity are the main advantages of this practice. The objective of this study was to investigate, under field conditions, the effect of three configurations of domestic wastewater treatment, water supply and water depth on growth, yield, plant nutritional status and fertility of the soil at the end of the experiment. A randomized block design was used, with 4 x 2 scheme of factorial analysis with four replications, testing four types of water (A1 - effluent from the UASB reactor + Polishing Pond; A2 - effluent from the Digester Decant + Anaerobic Filter + Stabilization Pond; A3 - effluent form the Anaerobic Filter + Stabilization Pond; and A4 - Urban water supply) and two water depths (100% and 120% Crops evapotranspiration). Water was applied using a drip irrigation system every three days. Plant height, stem diameter and number of leaves were evaluated at 29, 43, 57, 71 and 86 days after germination. Productivity of seeds, plant nutritional status and soil fertility were evaluated at the end of the experiment. Based on the results no significant difference in growth and seed production when using treated wastewater. Contribution of nutrients through wastewater favored the growth of plants, but was not enough to increase the production in appropriate levels of mineral fertilization and irrigation. For soil fertility, there was no significant difference in levels of P, K and Na for the three configurations of wastewater treatment. In general, there were no restrictions regarding the contents of P, Ca and Mg in the leaf of castor bean. The concentrations of N, K and Na in the leaf tissues were significantly equal for plants irrigated with treated effluent.

Key words: *Ricinus communis* L., water reuse, irrigation, leaf analysis

INTRODUÇÃO GERAL

Disponibilidade e qualidade de água

A água constitui um dos insumos fundamentais para a produção agrícola de alimentos e matéria prima para diversos processos industriais. Apesar de ser um recurso renovável, encontra-se escassa em grande parte do mundo. Na medida em que cresce a população e a intensidade das atividades econômicas, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água, se defrontando com limites para o seu desenvolvimento econômico. Assim é fácil perceber que o desafio para a sociedade atual, será o gerenciamento dos conflitos e a capacidade de acomodar e proporcionar maior eficiência aos usos múltiplos da água. A competição para os diversos usos da água será sempre maior e estará cada vez mais presente no cotidiano das nações.

A agricultura é a atividade produtiva que mais demanda água em âmbito mundial, sendo responsável por cerca de 70% de sua utilização, ficando 23% para o uso industrial e 7 % para o uso doméstico (Brito et al., 2002). Embora a agricultura irrigada demande grande quantidade de água, a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior, o que não acontece em algumas atividades industriais e domésticas. Assim, a substituição de água de melhor qualidade por águas de qualidade inferior possibilita uma economia de água natural, aumentando assim a disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes (Silva, 2007).

Uso de efluente de tratamento de esgoto

Diante de demandas crescentes pelo uso racional dos recursos hídricos, a reutilização de águas servidas surge como uma alternativa bastante atrativa. Em países como Israel 70% do esgoto doméstico é reutilizado na irrigação. O reúso consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana. O reúso indireto não planejado de águas ocorre quando a água já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente

utilizada a jusante. O reúso planejado de água ocorre quando existe um sistema de tratamento que atende aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água (Mancuso & Santos, 2003).

A grande vantagem do reúso de esgotos domésticos na irrigação de culturas agrícolas está na minimização da poluição hídrica dos mananciais, economia de água de melhor qualidade e também a diminuição dos gastos com adubação química devido à concentração de nutrientes presentes em tais águas (Deon et al., 2010; Silva, 2007).

Vários trabalhos científicos têm sido realizados, nos quais se demonstra a viabilidade da produção agrícola fertirrigada com água residuária, sendo que os principais benefícios desta tecnologia estão diretamente ligados a aspectos ambientais de saúde pública (Cavallet et al., 2006; Silva, 2007; Rodrigues et al., 2009a; Rodrigues et al., 2009b; Silva, 2009; Nascimento et al., 2009; Nichele, 2009; Deon et al., 2010).

Souza et al. (2010) em experimento de campo com mamona BRS Nordestina, verificaram o efeito do aporte de nutrientes do efluente de esgoto doméstico tratado na produtividade de sementes da cultura, obtendo 1.986 kg ha^{-1} . Os mesmos autores observaram que as plantas irrigadas com efluente doméstico apresentaram teor de extração de óleo das sementes menor que o das plantas adubadas convencionalmente. O valor médio da extração de óleo foi de 4,5% para plantas irrigadas com efluente e 28,5% para plantas irrigadas com água + adubação química.

Cavallet et al. (2006) ao estudarem o efeito da utilização de água residuária no solo em experimentos de campo, observaram melhoria da fertilidade do solo, e um incremento na produção de grãos de milho em todos os tratamentos, aos quais se aplicou a água residuária devido à presença de nutrientes.

Em experimento de campo Gomes et al. (2009) investigaram o efeito do aporte de nutrientes e o estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção por hipoclorito de sódio. Os autores constataram que a desinfecção do efluente atingiu o objetivo sanitário, tornando o efluente seguro para aplicação pela irrigação. Muito pouco foi alterado na constituição do efluente desinfectado em relação ao efluente sem desinfecção. Foi constatado pelas análises de diagnose foliar que o uso dos efluentes supriu totalmente a necessidade de adubação mineral na cana-de-açúcar para P e S, e proporcionou incrementos significativos de Ca, Mg e Zn, quando comparado ao tratamento sem irrigação. Os autores ainda relatam que a prática do reúso agrícola pode ser realizada de forma

segura, trazendo benefícios à cultura, além da economia de insumos como água e fertilizantes.

Vogeler (2009) observou que a irrigação com efluentes por logo período (12 anos) em um solo de textura leve, não afetou negativamente suas propriedades físicas, pelo contrário, melhorou a estabilidade e a taxa de infiltração. No entanto, segundo o autor é necessário ter cuidado com outros aspectos relacionados a riscos como aplicação de nutrientes, contaminação por patogênicos, aumento da salinidade e sodicidade do solo.

Já Gharaibeh et al. (2007) em pesquisa sobre o efeito da aplicação de efluentes nas propriedades hidráulicas de um vertissolo durante 15 anos, constataram uma redução na condutividade hidráulica do solo e na taxa de infiltração em relação a uma área não irrigada. Ao final da pesquisa concluíram que o efluente poderia ser usado com alternativa para irrigação em vertissolos, porém, com uma ressalva em relação ao elevado teor de sódio presente no efluente.

Samaras et al. (2009) analisaram o efeito da irrigação com efluentes na produção de tomate e concluíram que o efluente pode ser uma alternativa para o suprimento de parte da necessidade de fertilização inorgânica da cultura, principalmente em locais com limitada disponibilidade hídrica. No que diz respeito a metais pesados, houve um decréscimo na concentração de Ferro no solo, enquanto que, as concentrações de Manganês, Cobre e Zinco não foram afetadas pelo uso do efluente.

Xu et al. (2010) relatam que o uso da irrigação com efluentes é uma opção interessante para produção agrícola em regiões áridas e semiáridas por proporcionar um aporte hídrico e de nutrientes aos sistemas agrícolas.

De acordo com Kiziloglu et al. (2008) o uso de efluentes na irrigação vem sendo considerado como uma solução técnica para minimizar a degradação do solo e também como fonte de nutrientes para as culturas agrícolas. Os autores investigaram o efeito da irrigação com quatro tipos de água (água subterrânea, esgoto bruto, efluente de tratamento preliminar e efluente de tratamento primário) sobre a qualidade do solo (textura argilosa) e de duas culturas (couve-flor e repolho roxo). Ao final do estudo constatou-se que houve um decréscimo o pH do solo irrigado com efluente decresceu em relação ao do solo irrigado com água subterrânea, por outro lado, nas unidades experimentais irrigadas com efluente observou-se uma aumento no teor de sais, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC). Em relação às culturas observou-se um incremento de produtividade e concentração de macronutrientes nas plantas irrigadas

com efluentes. Ainda segundo os autores a utilização de esgoto bruto para irrigação é uma prática confiável, a curto prazo, desde que seja feita com constante monitoramento do solo e da planta, enquanto que, o efluente de tratamento primário pode ser usado de forma sustentável para produção agrícola por um longo período de tempo.

Os benefícios agronômicos e econômicos do uso de efluentes na irrigação são óbvios. O aumento na produtividade, economia de água potável, reciclagem de nutrientes são os principais. Al-Nakshabandi et al. (1997) em experimento de campo, avaliaram os eventuais problemas associados ao uso de efluente de esgoto doméstico tratado no cultivo de berinjela. A produtividade obtida com o uso de efluentes foi duas vezes superior que aquela obtida com água de abastecimento e adubação mineral, a explicação deste resultado segundo os autores é devido carga de nutrientes contida no efluente.

Segundo Chiaradia et al. (2009), estudos sobre a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes originados da aplicação de resíduos orgânicos em solos agrícolas são necessários para o estabelecimento de alternativas ambientais economicamente viáveis para a disposição desses materiais. Em campo, o conteúdo de N dos resíduos tem sido o fator limitante na definição da dose aplicada, tendo em vista os problemas ambientais que o excesso desse nutriente pode causar. Estes autores constataram que a utilização de lodo de esgoto proporcionou um incremento significativo da produtividade e de outras características biométricas da mamoneira. Em relação aos metais Cu e Zn os autores constataram aumento significativo tanto no solo quanto na planta, porém dentro dos limites aceitos pela legislação ambiental.

Para Erthal et al. (2010) a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, se bem planejada, poderá trazer benefícios, tais como fonte de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor. O solo apresenta grande capacidade de decompor ou inativar materiais potencialmente prejudiciais ao ambiente, através de reações químicas e por processos microbiológicos. A final de um experimento de campo com aplicação de efluente de bovinocultura para produção de pastagem, os autores observaram os seguintes resultados: Houve um aumento no pH, CTC e saturação por bases no solo em estudo (argissolo); O uso do efluente proporcionou um aumento nas concentrações de cálcio, magnésio e potássio trocáveis nas camadas superficiais do solo, indicando que o teor de Potássio no solo deve ser

monitorado e usado como referência na definição de doses de aplicação do efluente e por fim, não foi observado acúmulo de matéria orgânica no solo.

O efeito da irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado nas propriedades químicas de um solo franco-arenoso cultivado com mamoneira foi estudado por Nascimento et al. (2009). Os autores constataram que para as condições experimentais, a irrigação com efluente, um aumento nos teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, ferro e manganês, no entanto, o aumento na matéria orgânica não foi suficiente para elevar este elemento a nível adequado.

Blum et al. (2009) relatam que apesar dos potenciais benefícios do uso de efluentes na irrigação de culturas agrícolas, esta não é uma prática isenta de riscos, haja vista que a presença de alguns constituintes, tais como o sódio (Na), metais pesados, organismos patogênicos e contaminantes orgânicos, podem ocasionar prejuízos significativos ao sistema solo, comprometendo, caso não se observem rigorosamente os critérios técnico-científicos apropriados a esta prática, a viabilidade do reuso agrícola. Ainda segundo os autores, a manutenção de elevados níveis de produtividade é crucial para o manejo sustentável dos elementos adicionados ao solo via irrigação com efluente, uma vez que a planta tem papel decisivo na regulação das quantidades de nutrientes sujeitos à perdas no sistema solo. Neste sentido, recomenda-se um manejo adequado, no qual se observem as condições físicas, químicas e biológicas mais apropriadas ao desenvolvimento da cultura. De acordo com Segarra et al. (1996), as culturas aptas a irrigação com efluentes devem possuir, dentre outras características, um alto consumo de água, elevada absorção de nitrogênio (N), potencial de processamento industrial e alto retorno econômico.

Processos de tratamento de esgoto doméstico para reúso agrícola

O reúso planejado de efluentes de esgoto doméstico tratado vem sendo apontado como medida para amenizar o problema de escassez de água no semiárido brasileiro, sendo uma alternativa, particularmente para os agricultores localizados nas vizinhanças das grandes cidades (Sousa et al., 2005). O efluente de esgoto doméstico destinado ao reúso na irrigação de culturas agrícolas deve ser cuidadosamente avaliado e monitorado, pois o seu uso inadequado pode contaminar o ambiente, os agricultores envolvidos no processo produtivo e até mesmo os consumidores de culturas irrigadas com tais efluentes (Sousa & Leite, 2003). Para garantir o uso adequado de efluentes de esgoto

doméstico na irrigação faz-se necessário seu tratamento para garantir a qualidade higiênica e corrigir características indesejáveis como alta concentração de sólidos e matéria orgânica putrescível (Sousa et al., 2005). A legalização do uso de efluentes na agricultura certamente colocará parâmetros bacteriológicos que tornarão necessárias a desinfecção do efluente para o controle de doenças veiculadas pela água. Dentre as formas mais utilizadas para desinfecção está a cloração, que pode ser realizada, dentre outras maneiras, na forma de aplicação de solução de hipoclorito de sódio, que age como oxidante de material celular. Entretanto o cloro empregado em águas ricas em compostos orgânicos, como o caso de efluentes de estação de tratamento de esgotos, pode levar a formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, como compostos organoclorados (Gomes et al., 2009).

Usualmente, consideram-se os seguintes níveis para o tratamento de esgotos: *tratamento preliminar*: destina-se a remoção de sólidos grosseiros em suspensão. São utilizados apenas mecanismos físicos (gradeamento e sedimentação por gravidade) como método de tratamento; *tratamento primário*: destina-se a remoção dos sólidos sedimentáveis e de pequena parte da matéria orgânica, utilizando-se de mecanismos físicos como método de tratamento; *tratamento secundário*: são geralmente constituídos por reatores biológicos, remove grande parte da matéria orgânica, podendo remover parcela dos nutrientes como nitrogênio e fósforo. Os reatores biológicos empregados para essa etapa do tratamento reproduzem os fenômenos naturais da estabilização da matéria orgânica que ocorreriam no corpo receptor e *tratamento terciário*: são geralmente constituídos de unidade de tratamento físico-químico e tem como finalidade a remoção complementar da matéria orgânica, dos nutrientes, de poluentes específicos e a desinfecção dos esgotos tratados. O tratamento terciário é bastante raro no Brasil (Sperling, 2005).

No Brasil, são várias as técnicas de tratamento de esgotos, desde sofisticados sistemas até os processos mais simples. As principais tecnologias para tratamento secundário desenvolvidas foram: reatores anaeróbios de fluxo ascendente por meio do lodo (UASB); decanto-digestores seguidos de filtros anaeróbios; lagoas de estabilização inovadoras; formas de disposição controlada no solo; entre outras (Campos, 1999).

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), assemelha-se com o filtro anaeróbio ascendente, tendo este inclusive servido como modelo inicial do desenvolvimento que se seguiu. A diferença é que o UASB não possui qualquer

material de enchimento para servir de suporte para a biomassa. A imobilização dos microrganismos ocorre por meio de auto-adesão, formando flocos ou grânulos densos suspensos, que se dispõem em camadas de lodo a partir do fundo do reator. O reator UASB representa um grande avanço na aplicação da tecnologia anaeróbia para o tratamento direto de águas residuárias, sejam de natureza simples ou complexa, de baixa ou de alta concentração, solúveis ou com material particulado (Kato et al., 1999). Sousa et al. (2000) em pesquisa com tratamento de água residuária por meio de reator UASB, detectaram eficiência de remoção de DQO, N-total e P, respectivamente de 76, 31 e 50%.

Os decanto-digestores (DG) associados a filtros digestores (FD) constituem uma configuração de tratamento de esgotos bastante interessante, devido principalmente a facilidade de partida, operação e manutenção, não perdendo a eficiência a curto prazo (Andrade Neto et al., 2000). Atualmente, é comum a associação com filtros anaeróbios, constituindo o popular sistema Tanque Séptico - Filtro Anaeróbio.

Os filtros anaeróbios são reatores que dispõem de uma camada de material suporte, em cuja superfície ocorre a fixação de microrganismos e o desenvolvimento de biofilmes. O fluxo hidráulico ascendente, horizontal ou descendente, ocorre nos interstícios do leito formado pelo material suporte, onde também proliferam microrganismos que podem se agregar na forma de grânulos e flocos. O principal objetivo dos filtros anaeróbios de lodo ativo sobre a fase líquida é propiciar um maior tempo de retenção celular, para obter um contato longo entre a biomassa ativa e o esgoto a ser tratado. Exploram a imobilização e retenção de bactérias, na forma de biofilme, flocos ou grânulos (Andrade Neto et al., 2000).

Em relação ao pós-tratamento de sistema anaeróbios de tratamento de esgoto doméstico Sousa et al. (2005) observaram que utilizando a lagoa de polimento foi possível produzir um efluente compatível com as recomendações da Organização Mundial de Saúde para irrigação irrestrita. Os parâmetros observados foram DQO, pH, sólidos e suas frações, macronutrientes, ovos de helmintos e indicadores de contaminação fecal. Ainda segundo os autores a quantidade de macro e micronutrientes contida no efluente é suficiente para maioria das culturas cultivadas na região semiárida do Nordeste Brasileiro.

A cultura da mamoneira

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) pertence à família Euphorbiaceae, possivelmente originária da antiga Abissínia, hoje Etiópia. O fruto é aproveitado integralmente, obtendo-se como produto principal o óleo e, como co-produto, a torta que pode ser utilizada como adubo orgânico (Beltrão et al., 2001). O óleo extraído da semente pode ser utilizado fins medicinais (cosméticos, proteção da pele e laxante) e também, como combustível para iluminação (Távora, 1982).

A ricinoquímica é responsável pela produção de mais de 400 produtos, tais como, plásticos, fibras sintéticas, tintas, esmaltes, lubrificantes e combustível, além de servir de matéria-prima na produção de próteses em substituição à platina, com custo reduzido, cimento ósseo, ação fungicida e bactericida (Freire, 2001).

A maior exigência hídrica da mamoneira ocorre no início da fase vegetativa produzindo, economicamente, em áreas onde a precipitação pluvial mínima, até o início da floração, seja pelo menos 400 mm (Azevedo et al., 2001).

Segundo dados da CONAB (2010), os preços reais mensais recebidos pelos produtores de mamona no mercado interno, em comparação aos exercidos no ano passado (abril/09/maio/10), tiveram aumento de 33,9%, permanecendo com tendência de alta (média de R\$ 70,00/60 kg). Ainda segundo a CONAB, este fato pode ser atribuído basicamente a acirrada demanda por esta oleaginosa, embora cerca de 80% já tenha sido colhida, no Estado de maior produção (Bahia) que representa 77% da safra nacional.

No Nordeste a área plantada com mamona é da ordem de 146,8 mil hectares (93% da área total), sendo que o estado da Bahia detém 71,6% desta área, seguido pelo estado do Ceará (20,7%), Pernambuco (5,6%) e Piauí (1,9%). Culturas como algodão em caroço, Amendoim e Girassol, possuem uma área plantada no Nordeste de 288, 10,8 e 1,4 mil hectares. Apesar da extensa área cultivada com mamona, a produtividade da mamoneira ainda é considerada baixa, em média de 600 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

Diagnose do estado nutricional pela análise foliar

No que se refere ao estado nutricional das plantas, o efluente de esgoto apresenta características agronomicamente desejáveis como a presença dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Fonseca et al., 2007). Entretanto, não é uma prática isenta de riscos, principalmente devido à presença de determinados constituintes

característicos de esgoto doméstico, como por exemplo, o sódio e organismos patogênicos, prejudiciais ao solo, às plantas e, conseqüentemente, ao ser humano.

A mamoneira apesar de possuir boa capacidade de adaptação e encontrar-se vegetando nos mais variados tipos de solo, requer um manejo correto de adubação e nutrição, principalmente nos cultivos existentes na região nordeste, pois essa oleaginosa é considerada uma cultura exigente em fertilidade e sensível a acidez de solo (Severino et al., 2006).

De acordo com Malavolta (2006) uma das maneiras de avaliar os efeitos da adubação e a eficiência de absorção pelas plantas é a determinação do estado nutricional. Esse método permite verificar se a planta possui em seus tecidos todos os elementos em quantidades e proporções adequadas, no intuito de ajustar o programa de adubação e doses de adubo, visando o aumento na produção. A parte da planta que melhor reflete o estado nutricional das culturas são as folhas, isso por que o teor dos elementos encontrados em suas células é conseqüência do efeito dos fatores que atuaram e, às vezes, interagiram até o momento em que esse órgão foi colhido para análise química. Ainda segundo o autor, os teores adequados de macronutrientes no tecido foliar da mamona são de 40-50 N, 3-4 P, 30-40 K, 15-25 Ca, 2,5-3,5 Mg, 3,4 S, em g kg⁻¹. Tais resultados foram obtidos para amostras de folhas coletadas no início do florescimento da mamoneira.

Para Malavolta (2006), de modo geral, a folha recém-madura, cujo crescimento terminou e ainda não entrou em senescência, fornece indícios sobre o estado nutricional da planta inteira. Pacheco et al. (2008) em pesquisa com mamoneira adubada com NPK observaram que os teores foliares para macronutrientes associados à máxima produtividade econômica (2.836,8 kg ha⁻¹ de bagas) foram de 54,6 N, 2,9 P, 25,6 K, 18,0 Ca, 2,4 Mg e 2,5 S, em g kg⁻¹. Foi utilizada uma amostra de duas folhas por planta, coletadas próximo ao ápice da planta. As folhas foram coletadas na época do florescimento da cultura.

Severino et al. (2006) relataram a importância dos nutrientes N, K e P para mamoneira. Os autores detectaram que o aumento da disponibilidade de N e K promoveu alteração na expressão sexual da mamoneira, favorecendo o aumento de produtividade. O aumento foi significativo: de 1.072 para 2.298 kg ha⁻¹ com o fornecimento de adubo nitrogenado. Na mesma pesquisa foi observado um consistente aumento do teor de óleo nas sementes em resposta ao aumento nas doses de P. Entre a

dose zero e 100 kg ha⁻¹ de P, o teor aumentou de 47,6 para 50,2%. De acordo com Beltrão et al. (2001), o P participa de importantes reações químicas da fisiologia da planta, com destaque para os processos ligados ao fluxo de energia, compondo a molécula de ATP e outras moléculas de grande importância, e entre os produtos comumente armazenados em sementes (óleos, proteínas e carboidratos), os ácidos graxos componentes dos óleos são os que mais exigem gastos de ATP por grama de produto armazenado.

De acordo com Santos et al. (2004), os sintomas de deficiência de N na mamoneira adulta consistem no amarelecimento das folhas inferiores e forte gradiente de perda de cor das folhas inferiores para o ápice, é também observado a queda prematura de folhas.

Em relação ao K, Ferreira et al. (2004) relataram que os sintomas da deficiência deste nutriente na mamoneira se estabelecem aos 30 dias após a emergência, as folhas inferiores começam a apresentar uma clorose verde-amarelo-claro, que evolui para clorose nos lóbulos superiores das folhas.

Lavres Júnior et al. (2006) analisando o estado nutricional da mamona 'Íris' desenvolvida em solução nutritiva completa informam as seguintes concentrações (em g kg⁻¹) de macronutrientes no limbo das folhas superiores: 48,1 N, 4,7 P, 23,3 K, 13,6 Ca, 6,7 Mg, 3,7 S. As amostras foram coletadas aos 112 dias após a emergência.

Trabalhando com níveis de reposição de água residuária de esgoto doméstico, Rodrigues (2008) observou para mamoneira, os seguintes teores (em g kg⁻¹) foliares de nutrientes 13,26 N, 2,22 P, 20,85 K, 9,22 Ca, 5,84 Mg, 1,65 S. Foram utilizadas folhas próximo ao ápice da planta, coletadas aos 174 dias após a semeadura (final do experimento).

Problemas potenciais da irrigação com efluentes de esgoto doméstico tratado

Os efluentes geralmente possuem uma relação constante entre os nutrientes, sendo característica de cada tipo em particular de resíduo. Tal relação, no entanto, nem sempre é a mais adequada à produção e nutrição das plantas, podendo acarretar desbalanço de nutrientes no sistema solo-planta e efeitos negativos associados à sodificação, salinização e toxicidade de certos elementos (Deon et al., 2010).

É possível também a contaminação do aquífero freático pela lixiviação de nitrato (NO₃⁻). Em relação à cultura, uma medida importante a ser observada é a utilização de plantas com alta demanda de nitrogênio (Veloso et al., 2004). De acordo com Phillips &

Sheehan (2005) os solos ideais para o recebimento de efluentes ricos em nitrogênio são aqueles com cargas positivas na superfície, capazes de reter estes ânions.

De acordo com Bastos et al. (2005), na agricultura, o manejo adequado se encontra no balanço coerente entre a demanda de água e de nutrientes das plantas, além da observação aos problemas potenciais de salinidade, sodicidade e toxicidade.

Objetivo geral do trabalho

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para o conhecimento da técnica e dos efeitos do aproveitamento de efluentes de esgoto doméstico na irrigação da mamoneira, em experimentação de campo, na região semiárida do estado de Pernambuco. Nos capítulos que se seguem são abordados os efeitos de diferentes tipos de efluentes e lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento da mamoneira. No Capítulo 1 estuda-se o efeito sobre o crescimento e a produtividade de sementes da mamona BRS Energia. No Capítulo 2 são estudados o estado nutricional da planta e a fertilidade do solo ao final do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Nakshabandi, G.A.; Saqqar, M.M.; Shatanawi, M.R.; Fayyad, M.; Al-Horani, H. Some environmental problems associated with the use treated wastewater for irrigation in Jordan, *Agricultural Water Management*, v.34, n.1, p.81-94, 1997.

Andrade Neto, C.O. de; Melo, H.N. de S.; Lucas Filho, M. Variação das concentrações de matéria orgânica em um sistema decantando-digestor e filtros anaeróbios. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABES, 2000. 8p. CD Rom.

Azevedo, D.M.P. de; Nóbrega, L.B. da; Lima, E.F.; Batista, F.A.S.; Beltrão, N.E. de M. Manejo cultural. In: Azevedo, D.M.P. de; Lima, E.F. (eds.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.121-160.

Bastos, R.K.X.; Bevilacqua, P.D.; Silva, C.A.B.; Dornelas, F.L.; Assunção, F.A.L.; Rios, E.N.; Silva, A.F.S.; Freitas, A.S.; Costa, G.S. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, suplemento, p.164-170, 2005.

Beltrão, N.E. de M.; Silva, L.C.; Vasconcelos, O.L.; Azevedo, D.M.P. de; VIEIRA, D.J. Fitologia. In: Azevedo, D.M.P. de; Lima, E.F. O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.37-61.

Blum, J.; Leal, R.M.P.; Montes, C.R.; Melfi, A.J. Influência do manejo na sustentabilidade do uso agrícola de efluentes: estudo de caso com cana-de-açúcar em Lins-SP, *Revista DAE*, n.180, p.61-66, 2009.

Brito, R.A.L.; Couto, L.; Santana, D.P. Agricultura irrigada, recursos hídricos e produção de alimentos. Uma interação produtiva e positiva. *Revista Irrigação e Tecnologia Moderna*, ITEM, Brasília, n.55, 3º trimestre, 2002.

Campos, J.R. Tratamentos de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p. Projeto PROSAB.

Cavallet, L. E.; Lucchesi, L. A. C., Moraes, A. de M.; Schimidt, E.; Perondi, M. A.; da Fonseca, R.A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residual da indústria de enzimas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.724-729, 2006.

Chiaradia, J.J.; Chiba, M.K.; Andrade, C.A.; Oliveira, C.; Lavorenti, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.3, p.701-709, 2009.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, outubro-2010. Brasília: Conab, 2010.

Deon, M.D.; Gomes, T.M.; Melfi, A.J.; Montes, C.R.; Silva, E. Produtividade e qualidade da cana-de-acucar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010.

Erthal, V.J.T.; Ferreira, P.A.; Matos, A.T.; Pereira, O.G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

Ferreira, G.B.; Santos, A.C.M. Xavier, R.M.; Ferreira, M.M.M.; Severino, L.S.; Beltrão, N.E. De M. Deficiência de fósforo e potássio na mamoneira (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade, 1, 2004. Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 8p. CD Rom.

Fonseca, A.F.; Melfi, A.J.; Monteiro, F.A.; Montes, C.R.; Almeida, V.V.; Herpin, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for tifton 85 bermudagrass, *Agricultural Water Management*, v.87, p.328-336, 2007.

Freire, R.M.M. Ricinoquímica. In: Azevedo, D.M.P.; Lima, E.F. O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.295- 334.

Gharaibeh, M.A.; Eltaif, N.I.; Al-Abdullah, B. Impact of field application of treated wastewater on hydraulic properties of vertisols, *Water Air Soil Pollut*, v.184, n.1-4, p.347-353, 2007.

Gomes, T.M.; Melfi, A.J.; Montes, C.R.; Silva, E.; Sundefeld Junior, G.C.; Deon, M.D.; Piveli, R.P. Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção, *Revista DAE*, n.180, p.19-25, 2009.

Kato, M.T., Andrade Neto, C.O. de, Chernicharo, C.A. de L., Foresti, E.; Cybis, L.F. Configurações de Reatores Anaeróbios. In: Campos, J.R. Tratamentos de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 3, p.53-99.

Kiziloglu, F.M.; Turan, M.; Sahin, U.; Kuslu, Y.; Dursun, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey, *Agricultural Water Management*, v.95, n.6, p.716-724, 2008.

Lavres Júnior, A.; Boaretto, R.M.; Silva, M.L.S.; Correia, D.; Cabral, C.P.; Malavolta, E. Deficiência de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.1, p.61-67, 2005.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638p.

Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. Reúso de água. São Paulo: Manole, 2003. 576p.

Nascimento, M.B.H.; Lima, V.L.A.; Azevedo, C.A.V.; Souza, A.P. Propriedades químicas do solo cultivado com mamona, irrigado com água residuária tratada e adubado com biossólido. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa, v.4, n.1, p.8-15, 2009.

Nichele, J. Utilização de efluentes sanitários tratado para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo. Porto Alegre: UFRS, 2009. 75p. Dissertação Mestrado

Pacheco, D.D.; Gonçalves, N.P.; Saturnino, H.M.; Antunes, P.D. Teores foliares de nutrientes em mamoneiras (*Ricinus communis*) adubadas com doses variadas de NPK em solo de chapada da bacia do Rio Jequitinhonha. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.8, n.1, p.224-231, 2008.

Phillips, I.R.; Sheehan, K.J. Importance of surface charge characteristics when selecting soils for wastewater reuse. Australian Journal of Soil Research, v.43, n.8, p.915-927, 2005.

Rodrigues, L.N.; Nery, A.R.; Fernandes, P.D.; Beltrão, N.E.M. Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.9, n.2, p.55-67, 2009a.

Rodrigues, L.N.; Nery, A.R.; Fernandes, P.D.; Beltrão, N.E.M.; Gheyi, H.R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, suplemento, p.825-835, 2009b.

Rodrigues, L.N. Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária. Campina Grande: UFCG, 2008, 161p. Tese Doutorado

Samaras, V.; Tsadilas, C.D.; Tsialtas, J.T. Use of treated wastewater as fertilization and irrigation amendment in pot-grown processing tomatoes. Journal of Plant Nutrition, v.32, n.5, p.741-754, 2009.

Santos, A.C.M.; Ferreira, G.B.; Xavier, R.M.; Ferreira, M.M.M.; Severino, L.S.; Beltrão, N.E. de M. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis*): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. 7p. CD Rom.

Segarra, E.; Darwish, M.R.; Ethridge, D.E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. Resources, Conservation & Recycling, v.17, p.97-107, 1996.

Severino, L.S.; Ferreira, G. B.; Moraes, C.R. de A.; Gondim, T. M. de S.; Freire, W.S. de A.; Castro, D.A. de; Cardoso, G. D.; Beltrão, N.E. de M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.4, p.563-568, 2006.

Silva, M.B.R. Produção de pinhão manso irrigado com água residuária em função de reposição da evapotranspiração. Campina Grande: UFCG, 2009. 150p. Tese Doutorado

Silva, V. de P. Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção do feijão cupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Recife: UFPE, 2007. 128p. Tese Doutorado

Sousa, J.T.; Haandel, A.C.V.; Cavalcanti, P.F.F.; Figueiredo, A.M.F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura no semi-árido nordestino. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.10, n.3, p.260-265, 2005.

Sousa, J.T. de; Haandel, A.C.V.; Cosentino, P.R. da S.; Guimarães, A.V.A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.87-91, 2000.

Sousa, J.T.; Leite, V.D. Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura. Campina Grande: EDUEP, 2003, 135p.

Souza, N.C. de; Mota, S.B.; Bezerra, F.M.L.; Aquino, B.F. de; Santos, A.B. dos. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.5, p.478-484, 2010.

Sperling, M.V. Princípios básicos do tratamento de esgotos. v.2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 211p.

Távora, F.J.A.F. A cultura da mamona. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

Veloso, M.E.C.; Duarte, S.N.; Silva, I.J.O. Potencial de uso agrícola de águas residuárias na agricultura como suprimento hídrico e nutricional. *Engenharia Rural*, v.15, único, p.79-86, 2004.

Vogeler, I. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. *Water Air Soil Pollut*, v.196, n.1-4, p.385-392, 2009.

Xu, J.; Wu, L.; Chang, A.C.; Zhang, Y. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials*, v.183, n.1-3, p.780-786, 2010.

CAPÍTULO 1

Efeito de lâminas de irrigação e diferentes efluentes de esgoto doméstico tratado sobre o crescimento e produtividade de mamona BRS Energia

RESUMO

O cultivo da mamoneira no Nordeste do Brasil destaca-se como alternativa para produção de biodiesel com grande potencial para geração de emprego e renda na agricultura familiar. O objetivo do presente trabalho foi estudar os efeitos de diferentes efluentes de esgoto doméstico tratado e lâminas de irrigação sobre o crescimento e produtividade da mamona cv. BRS Energia. Conduziu-se entre dezembro de 2009 e abril de 2010, um experimento em condições de campo, na cidade de Ibimirim, PE. O delineamento estatístico utilizado foi blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições. Os fatores de estudo da pesquisa foram quatro tipos de água (A1 - Efluente do reator UASB + Lagoa de Polimento; A2 - Efluente do Decanto-Digestor + Filtro Anaeróbio + Lagoa de Estabilização; A3 - Efluente do Filtro Anaeróbio + Lagoa de Estabilização e A4 - Água de Abastecimento) e duas lâminas de irrigação (L1=100 e L2=120% da Evapotranspiração de cultivo). As lâminas de irrigação foram aplicadas a cada três dias utilizando um sistema de irrigação localizada por gotejamento. Avaliaram-se altura de planta, diâmetro caulinar e número de folhas aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação (DAG). A produtividade de sementes e a fitomassa da parte aérea foi avaliada aos 86 DAG. Com base nos resultados do estudo, verificou-se diferença significativa entre os tipos de água utilizados. Porém, as plantas irrigadas com efluentes (A1, A2 e A3) apresentaram crescimento e produtividade de sementes significativamente superiores às plantas irrigadas com água de abastecimento. Não houve interação significativa entre os fatores estudados. Observou-se que para as plantas irrigadas com efluentes (A1, A2 e A3), obtiveram-se as máximas respostas em relação à altura de planta (118,2 cm) diâmetro caulinar (22,85 mm), produtividade de sementes (1.923,28 kg ha⁻¹) e fitomassa da parte aérea (412,18 g planta⁻¹). A lâmina de irrigação correspondente a 120% da Evapotranspiração proporcionou maiores valores de crescimento, produtividade de sementes, fitomassa da parte aérea e teor de óleo das sementes, independente do tipo de água utilizado, confirmando a hipótese de que quanto maior o volume de água aplicado maior o aporte de nutrientes.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L., reúso de água, reciclagem de nutrientes

Effects of irrigation depth and different effluents from treated domestic sewage on the growth and yield of castor bean

ABSTRACT

The objective of this work was to study the effects of different forms of wastewater treatment of domestic sewage and irrigation depths on growth and yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) cv. BRS *Energia*, from germination to production. During December, 2009 and April, 2010 an experiment was installed, in the city Ibimirim-PE. A randomized block design was used, with 4 x 2 scheme of factorial analysis with four replications, testing four types of water (A1 - effluent from the UASB reactor + Polishing Pond; A2 - effluent from the Digester Decant + Anaerobic Filter + Stabilization Pond; A3 - effluent from the Anaerobic Filter + Stabilization Pond; and A4 - Urban water supply) and two irrigation depths (L1=100 and L2=120% of Crop Evapotranspiration). Water was applied using a drip irrigation system every three days. Plant height, stem diameter and number of leaves were evaluated at 29, 43, 57, 71 and 86 days after germination. Productivity of seeds was evaluated at last date. Based on the results, there was significant difference between the types of water used. For plants irrigated with effluent (A1, A2 and A3) were obtained maximal responses in relation to plant height (118.2 cm), stem diameter (22.85 mm) and seed yield (1,923.28 kg ha⁻¹). No significant interaction between the factors. The highest values of grown, seed yield, oil content and dry matter were observed for plants irrigated with 120% of crop evapotranspiration, independent of the type of water utilized, confirming the hypothesis that the higher the volume of water applied the greater the supply of nutrients.

Key words: *Ricinus communis* L., water reuse, nutrient recycling

INTRODUÇÃO

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa com grande tolerância à seca, exigente em calor e luminosidade. Tais características permitem que ela seja cultivada com sucesso nas condições do semiárido brasileiro. O crescente interesse pelo cultivo da mamona se justifica, pois ela é fonte de matéria-prima para vários processos industriais, dentre eles o da produção de biodiesel, produto da reação do óleo de mamona com um álcool reagente, na presença de um agente catalisador (Souza et al., 2010).

Segundo Azevedo et al. (2001) a maior exigência hídrica da mamoneira ocorre no início da fase vegetativa produzindo, economicamente, em áreas onde a precipitação pluvial mínima, até o início da floração, seja pelo menos 400 mm.

A necessidade de aumento da produção de culturas agrícolas, juntamente com a crescente demanda por água de qualidade para abastecimento humano, tem acelerado a busca por alternativas de reutilização da água, para diversos fins, em especial para produção irrigada das culturas agrícolas. A utilização de esgoto doméstico tratado na produção agrícola deve ser encarada como uma oportunidade ao invés de problema, visto que rejeitos provenientes de esgoto doméstico, que outrora eram considerados como potenciais fontes de poluição dos recursos hídricos podem ser utilizados de forma racional e sustentável, gerando emprego e renda a medida que mitigam impactos ambientais.

São vários os métodos de tratamento de esgoto, dentre eles o tratamento anaeróbio tem sido o mais utilizado nos últimos anos, por apresentar vantagens significativas quando comparado aos processos comumente utilizados de tratamento aeróbio de águas residuárias, ou aos processos convencionais de compostagem aeróbia de resíduos orgânicos sólidos (Moraes & Paula Júnior, 2004).

Várias pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de estudar o reúso de esgotos domésticos na agricultura buscando manter o equilíbrio em relação aos aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos naturais, contribuindo para a sustentabilidade

humana e ambiental (Rodrigues et al., 2009; Lubello et al., 2004; Souza et al., 2010; Cavallet et al., 2006; Nascimento et al., 2004b; Xavier et al., 2009; Al-Nakshabandi et al., 1997). A irrigação de culturas agrícolas com esgoto tratado apresenta grande potencial, sobretudo para o desenvolvimento agrícola em áreas áridas e semiáridas.

Não podem ser ignorados, porém, os riscos potenciais da irrigação com esgotos. Dentre os possíveis riscos do reúso citam-se a contaminação de alimentos e de aquíferos por nitrato, o perigo de salinização do solo e o acúmulo de compostos tóxicos orgânicos e de microorganismos no solo (Léon & Cavallini, 1999; Kiziloglu et al., 2008; Gharaibeh et al., 2007).

Considerando o contexto de irrigação com efluentes de esgoto doméstico tratado, a planta da mamoneira, principalmente os cultivares precoces, como é o caso da BRS Energia, apresenta vantagens como fácil propagação, precocidade, e baixo porte possui grande potencialidade de cultivo utilizando tais efluentes, contribuindo para economia de água potável e diminuindo a poluição dos recursos hídricos.

Objetivo geral

Diante do exposto, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar em o efeito de diferentes tratamentos de esgoto doméstico e lâminas de irrigação sobre o crescimento e produtividade de sementes da mamona BRS Energia cultivada em condições de campo.

Hipóteses

- O aporte de nutrientes ao sistema agrícola via água de irrigação é diferenciado dependendo da configuração do tratamento de esgoto utilizada;
- O volume de água aplicado via irrigação por gotejamento influencia no crescimento e produção da mamoneira.
- A irrigação de mamona é uma opção viável agrônômica e ambientalmente para disposição do efluente de esgoto doméstico;

Objetivos específicos

- Avaliar a capacidade da irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado em atender as necessidades hídricas e minerais da mamona BRS Energia, considerando variáveis de crescimento e a produtividade de sementes;

- Verificar para qual tipo de efluente e lâmina de irrigação acontece a maior produtividade de sementes e de óleo.
- Verificar se o incremento da produtividade de sementes obtida com o uso de diferentes efluentes e lâminas de irrigação utilizadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Aspectos gerais

O experimento foi conduzido no período de 04 de dezembro de 2009 a 30 de abril de 2010 na cidade de Ibimirim-PE distante 333,0 km de Recife-PE. A sede do município está localizada na Latitude de 8° 32' 26'' Sul, Longitude de 37° 41' 25'' e Altitude média de 401 m (Figura 1). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação média anual de 454,0 mm; As temperaturas médias máxima e mínima são 32,5 e 20,4 °C, respectivamente (LAMEPE, 2010).

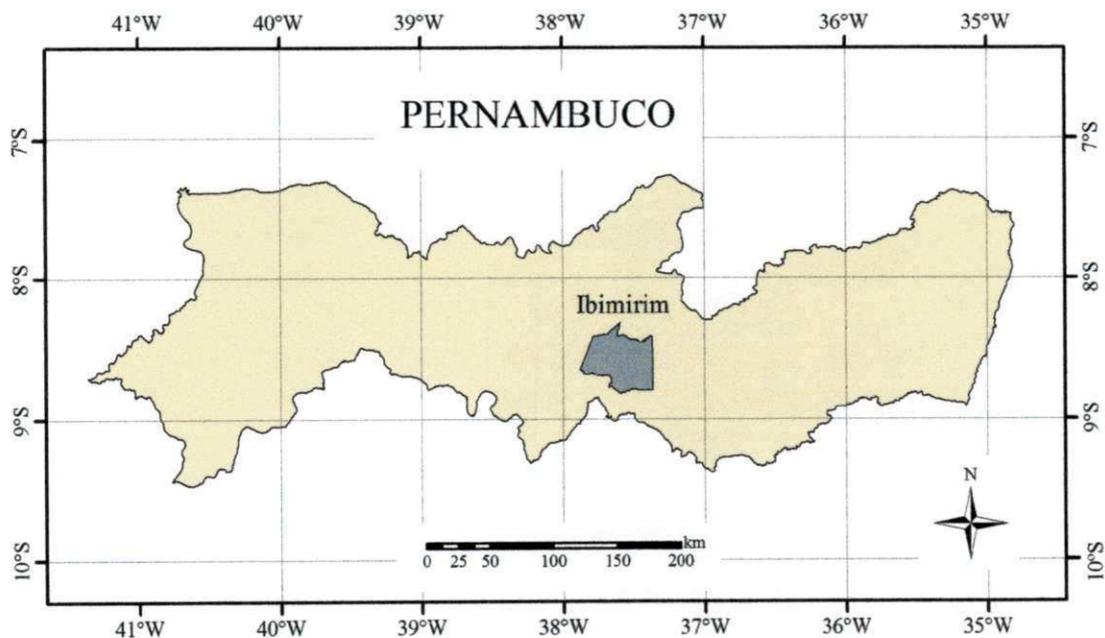


Figura 1. Localização do experimento.

O solo foi caracterizado como Neossolo Quartizarênico Órtico típico A moderado e relevo predominantemente plano. A composição textural encontra-se na Tabela 1 (EMBRAPA, 2009).

Tabela 1. Valores médios da composição textural do solo. Ibimirim-PE, 2010.

Profundidade Cm	Horizontes	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	Classe Textural
0 - 16	A	760	80	160	Franco Arenosa
16 - 66	C1	760	80	160	Franco Arenosa
66 - 99	C2	680	60	260	Franco Argilo Arenosa
99 - 134	C3	680	60	260	Franco Argilo Arenosa
134 - 155	C4	720	40	240	Franco Argilo Arenosa
155 ⁺	R	740	40	220	Franco Argilo Arenosa

Para determinação da fertilidade inicial do solo foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 0,30 m. Foram coletadas amostras simples, em vários locais da área experimental, em seguida as amostras foram misturadas para formação de uma amostra composta. Na Tabela 2, encontram-se os resultados das análises. O solo pode ser considerado de fertilidade média (V%=76,4), baixa capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e não possui limitação quanto a toxicidade por alumínio (m%=0).

Tabela 2. Características químicas do solo antes do experimento. Ibimirim-PE, 2010.

Atributo químico	unidade	valor
Matéria orgânica (MO)	g kg ⁻¹	5,30
Fósforo (P)	mg kg ⁻¹	160,0
pH em água (pH)	--	6,60
Cálcio (Ca ²⁺)		2,05
Magnésio (Mg ²⁺)		0,35
Sódio (Na ⁺)		ND*
Potássio (K ⁺)		0,26
Hidrogênio (H ⁺)	cmolc dm ⁻³	0,82
Alumínio (Al ³⁺)		ND*
Enxofre (S)		2,70
Capacidade de troca de cátions (CTC)		3,50
Saturação de bases (V)	%	76,4
Saturação por Alumínio (m)		ND*

*ND, não detectado.

Preparo do solo, tratos culturais

Inicialmente realizou-se a limpeza da área eliminando restos culturais e ervas daninhas existentes, depois, com o objetivo de uniformizar a superfície do solo na área experimental, utilizou-se uma grade de discos acoplada a um trator cortando superficialmente o solo a uma profundidade máxima de 15 cm. Efetuaram-se três capinas em intervalos de 15 dias, com o objetivo de manter a mamona livre de

competições até os 45 dias após a germinação, de modo que não houvesse o comprometimento do crescimento, desenvolvimento e produção. Não foram feitas aplicações de herbicidas e inseticidas.

Sistema de coleta e tratamento do esgoto

Foi utilizada uma estrutura de coleta e tratamento do esgoto doméstico proveniente de um dos bairros da cidade de Ibimirim-PE. O local selecionado para o desenvolvimento das pesquisas situa-se no entorno da cidade nas proximidades do bairro das Lajes, onde existe um sistema de esgotamento condominial implantado para atendimento de 500 habitações e cerca de 3.000 habitantes, aproximadamente 62% da população total estimada para o referido bairro (Figura 2). Os esgotos gerados pela comunidade são da ordem de aproximadamente $450 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$.

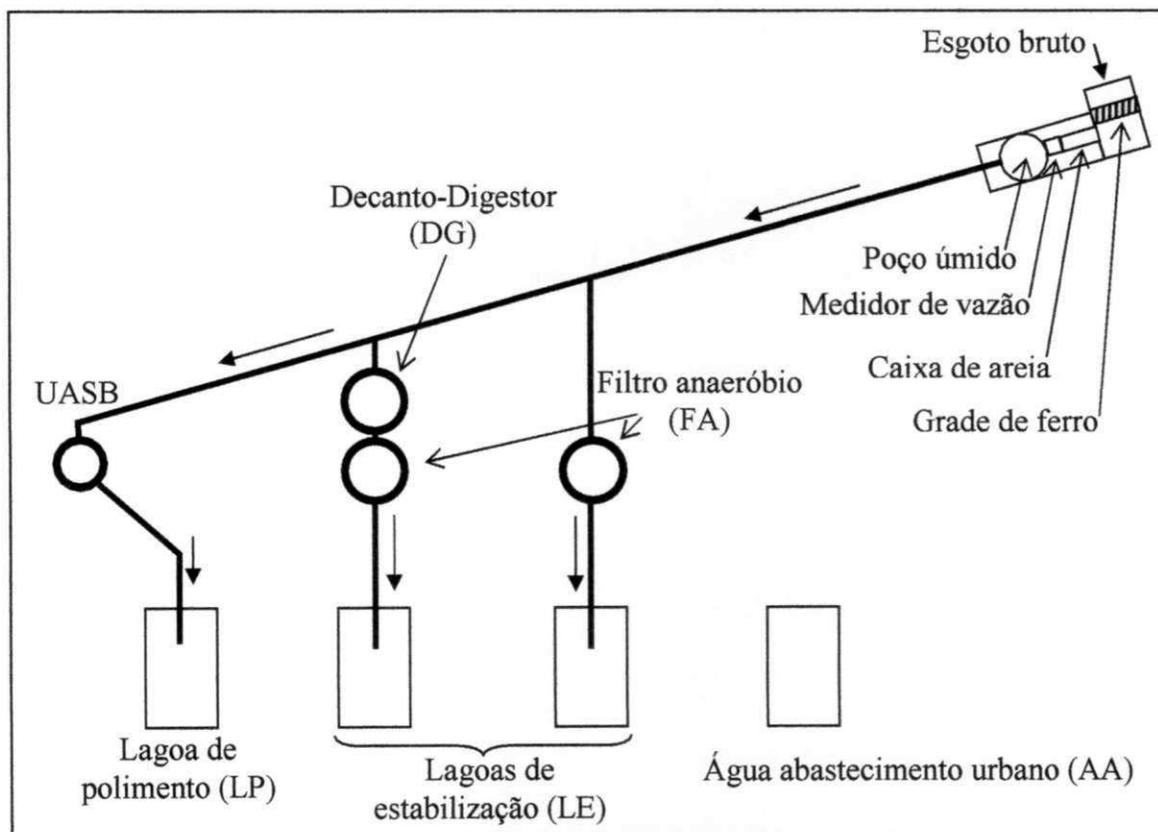


Figura 2. Esquema geral das instalações de coleta e tratamento de esgoto doméstico para reúso agrícola. Ibimirim-PE, 2010.

Conforme apresentado na Figura 2, o tratamento preliminar é composto de grade de barras, caixa de areia e calha Parshall. Mais detalhes da estrutura do tratamento preliminar podem ser observados na Figura 3. Após esta etapa, o efluente segue para um

poço úmido e estação elevatória de onde é bombeado para os sistemas de tratamento secundário.



Figura 3. Tratamento preliminar. Ibimirim-PE, 2010.

As três configurações de tratamento de esgoto doméstico são as seguintes: Reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) dotado de um compartimento aeróbio com fluxo descendente (Figura 3) associado a uma lagoa de polimento (LP); Decanto-digestor (DG) associado em série com um filtro anaeróbio (Figura 4) em série com uma lagoa de estabilização (LE); e Filtro anaeróbio (FA) em série com uma lagoa de estabilização (LE). Tanto o decanto-digestor, quanto o filtro anaeróbio, possuem capacidade de tratamento de $8,0 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, com tempo de detenção hidráulica de 2,2 h.

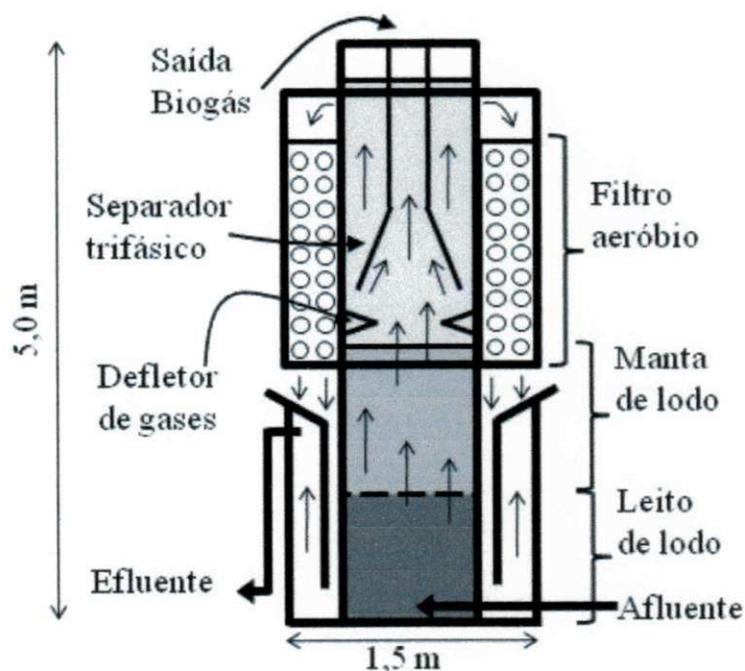


Figura 4. Esquema de funcionamento do reator UASB.

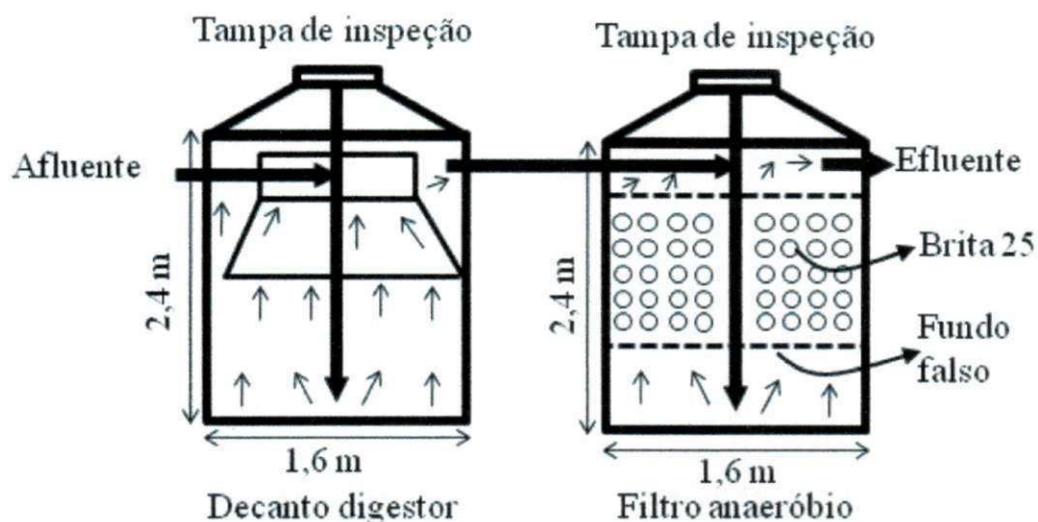


Figura 5. Esquema de instalação e funcionamento do Decanto-Digestor associado ao Filtro Anaeróbio.

Tanto a lagoa de polimento quanto as lagoas de foram dimensionadas de modo a apresentar as dimensões de 3,0 m de largura, 7,0 m de comprimento e 1,0 m de profundidade (Figura 7).



Figura 6. Impermeabilização das lagoas de estabilização. Ibimirim-PE, 2010.

Ao longo do experimento, foram determinadas as características físicas, químicas e microbiológicas dos quatro tipos de água utilizados para irrigação. As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LAEQ) DEQ/UFPR, segundo as metodologias contidas em Richards (1977) e APHA (1995). Os valores médios dos atributos para cada tipo de água encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização físico-química da água de abastecimento e dos efluentes utilizados na irrigação da mamoneira. Ibimirim-PE, 2010.

Constituintes	AA ⁽¹⁾	UASB+LP ⁽²⁾	DG+FA+LE ⁽³⁾	FA+LE ⁽⁴⁾
pH	6,53	6,87	6,88	6,95
CE (dS m ⁻¹)	0,218	2,14	1,99	1,88
SST ⁽⁶⁾ (mg L ⁻¹)	22,4	61,6	44,3	114,6
Cálcio (mg L ⁻¹)	32,1	155,6	109,5	150,7
Magnésio (mg L ⁻¹)	20,6	44,7	62,9	33,8
Sódio (mg L ⁻¹)	22,5	99,1	116,6	111,7
RAS ⁽⁵⁾ (meq L ⁻¹) ^{1/2}	0,75	1,80	2,19	2,13
N-total (mg L ⁻¹)	0,0	106,9	74,32	84,3
P-total (mg L ⁻¹)	0,31	10,3	8,7	9,4
Potássio (mg L ⁻¹)	13,3	43,6	42,4	53,6
Cloretos (mg L ⁻¹)	38,3	171,1	159,0	186,2
Sulfatos (mg L ⁻¹)	5,19	19,8	89,6	67,7
Dureza total-CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	81,3	221,6	196,2	222,8
DQO ⁽⁷⁾ (mg L ⁻¹)	10,8	395,5	384,6	694,9
DBO ⁽⁸⁾ (mg L ⁻¹)	0,90	36,1	47,3	65,0

⁽¹⁾Água abastecimento; ⁽²⁾Reator UASB + Lagoa de Polimento; ⁽³⁾Decanto-Digestor+Filtro Anaeróbio+Lagoa de Estabilização; ⁽⁴⁾Filtro anaeróbio+Lagoa de Estabilização; ⁽⁵⁾Razão de Adsorção de Sódio; ⁽⁶⁾Sólidos suspensos totais; ⁽⁷⁾Demanda Química de Oxigênio; ⁽⁸⁾Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Unidade de reúso agrícola: delineamento experimental e tratamentos

A unidade de reúso agrícola foi implantada com vistas a se irrigar uma área de aproximadamente 576 m² cultivada com mamona. Foi utilizado neste experimento, o cv. BRS Energia, desenvolvido pela Embrapa Algodão (EMBRAPA, 2007). As principais características da cultura encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Principais características do cultivar BRS Energia.

Ciclo	Média de 120 dias
Produtividade sequeiro (600 mm)	1800 kg ha ⁻¹
Florescimento 1º cacho	30 dias após a germinação
Folhas	Verdes com nervuras esverdeadas (44-55 cm)
Caule	Verde e com cera
Sementes	Rajadas com cores bege e marrom
Cachos	Formato cônico, densidade de frutos média com frutos indeiscentes
Peso de 100 sementes	50-55 g
Tamanho do cacho	Média de 80 cm
Número cachos por planta	2 a 3, podendo chegar a 8
Número de frutos por cacho	Média de 100 frutos
Teor de óleo (base seca)	48%

Fonte: EMBRAPA (2007).

Para avaliar o efeito das diferentes tipos de água (efluentes e água de abastecimento) e duas lâminas de irrigação, sobre o crescimento e produtividade da mamoneira, utilizou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso, com esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições, sendo testados 4 tipos de água (A1 - efluente do reator UASB+LP; A2 - efluente do DG+LE; A3 - efluente do FA+LE e A4 - água de abastecimento) e duas lâminas de irrigação (L1=100 e L2=120% da evapotranspiração da cultura), perfazendo um total de 8 tratamentos e 32 unidades experimentais.

A mamona foi plantada num espaçamento de 1,0 x 1,0 m. Cada unidade experimental referente a um tratamento foi constituída por uma parcela de 3 m de largura por 6 m de comprimento, totalizando 18 m². O bloco com oito tratamentos teve uma área de 144 m², assim a área experimental total teve 576 m². As parcelas experimentais foram compostas por 18 plantas sendo 4 úteis (Figura 6).

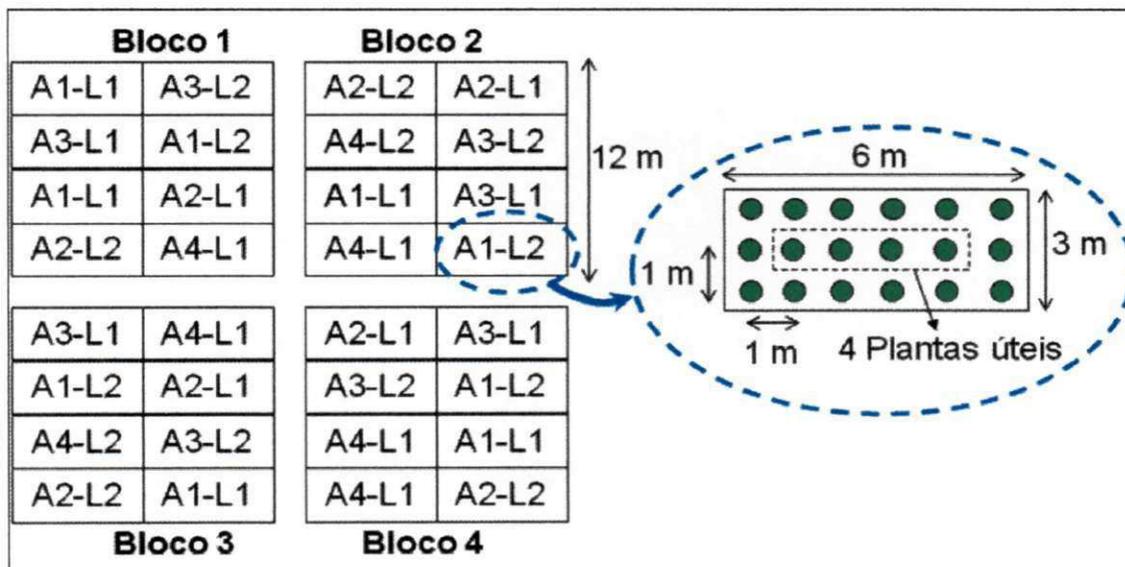
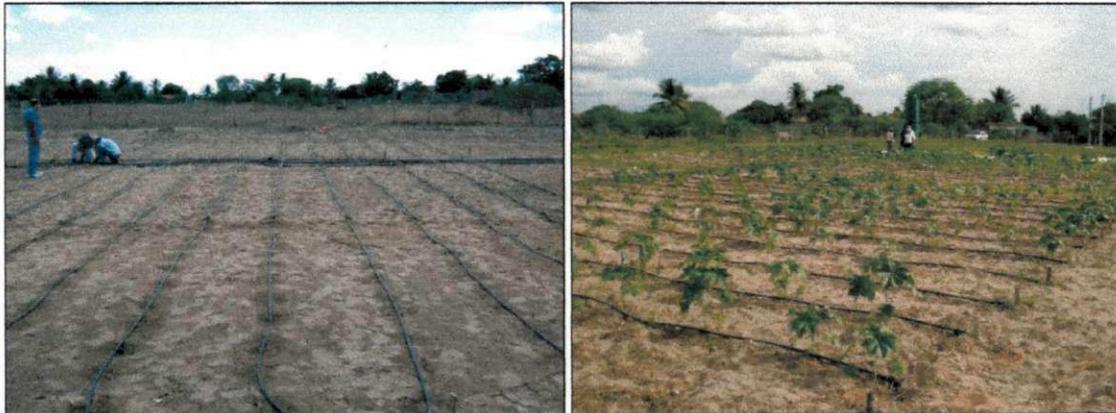


Figura 7. Distribuição em campo das parcelas em blocos ao acaso.

Instalação do sistema de irrigação localizada

Foi utilizado um sistema de irrigação localizada por gotejamento. De acordo com os critérios de dimensionamento, foram utilizados para as linhas laterais tubos de polietileno de baixa densidade de 16 mm de diâmetro, para linha de derivação tubos de polietileno de média densidade com 25 mm de diâmetro e para o recalque e sucção foram utilizados tubos de PVC rígido com 32 mm de diâmetro. Os emissores utilizados foram gotejadores externos auto-reguláveis da marca Plastro Brasil, com vazão

constante de $3,75 \text{ L h}^{-1}$ para uma faixa de pressão de 5 a 30 mca. Para suprir a demanda de vazão e pressão do sistema de irrigação foram utilizadas quatro motobombas centrífugas de eixo horizontal (Shneider) com potência de 0,5 CV. Na Figura 7A e 7B, encontram-se uma vista do sistema de irrigação em campo, bem como da mamoneira nos primeiros dias de cultivo, respectivamente.



(A)

(B)

Figura 8. Distribuição do sistema de irrigação em campo (A) e mamoneira nos primeiros dias de cultivo (B). Ibimirim-PE, 2010.

Monitoramento do clima e irrigação

O manejo da irrigação foi feito com base na evapotranspiração de cultivo (ETc) de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura. A evapotranspiração de referência (ETo) foi determinada pelo método padrão equação de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998), conforme Eq. 1:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que:

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

R_n - Radiação líquida na superfície da cultura, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

G - Densidade de fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

T_2 - Temperatura do ar a 2 m de altura, $^{\circ}\text{C}$

u_2 - velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1}

e_s - pressão de vapor de saturação, kPa

e_a - pressão atual de vapor, kPa

$(e_s - e_a)$ - déficit de pressão de vapor de saturação, kPa

Δ - declividade da curva de pressão vapor de saturação versus temperatura, kPa °C⁻¹

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹

Para o cálculo da ETo pelo método padrão foram necessários valores medidos de temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa média e radiação solar, obtidos por meio de uma estação meteorológica de aquisição automática de dados (CR1000, *Campbell Scientific*, Logan, Utah, EUA) instalada próximo a área experimental (Figura 8).

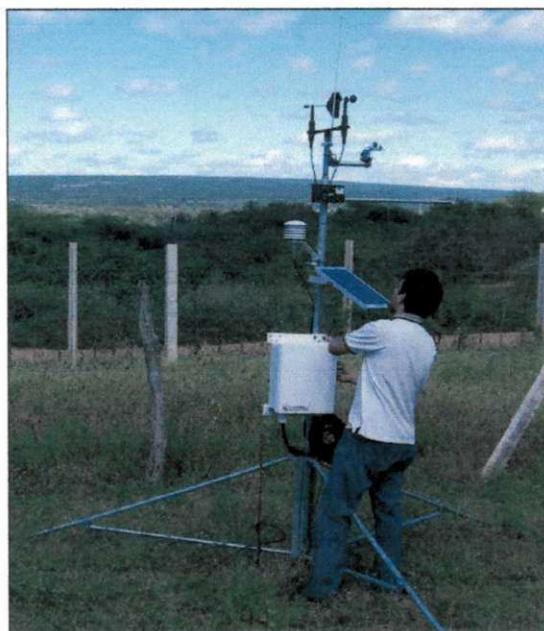


Figura 9. Estação meteorológica automática de aquisição de dados. Ibimirim-PE, 2010.

A estimativa da evapotranspiração de cultivo (ETc) foi feita utilizando dados meteorológicos e de cultivo, conforme Eq. 2:

$$ETc = ETo kc k_L \quad (2)$$

em que:

ETc - evapotranspiração de cultivo, mm dia⁻¹

ETo - evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹

kc - coeficiente de cultivo, de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, adimensional

k_L - coeficiente de sombreamento, dependente da percentagem de área molhada ou sombreada, adimensional

Os valores de kc utilizados na estimativa da ETc encontram-se na Tabela 5. Os valores de kc foram corrigidos para as condições climáticas do local do experimento, considerando os valores médios de temperatura e umidade relativa, conforme metodologia apresentada por Allen et al. (1998). A ETc foi obtida em tempo real considerando os valores diários de ETo e também do coeficiente de sombreamento da cultura (k_L).

Tabela 5. Coeficientes de cultivo (kc) e fases fenológicas da mamoneira.

Fase	Descrição	Duração (dias) ⁽¹⁾	kc ⁽¹⁾
I	Germinação, crescimento vegetativo	0-25	0,54
II	Floração	25-65	0,54-1,15
III	Frutificação	65-120	1,15
IV	Maturação e colheita	65-120	1,15-0,33

(1) Adaptado de Allen et al. (1998), Boletim 56 FAO.

As irrigações foram feitas a cada três dias em que se aplicavam duas lâminas de água ($L_1=100$ e $L_2=120\%ETc$). A aplicação das duas lâminas foi feita mediante variação do tempo de aplicação de água, conforme Eq. 3:

$$T_i = \frac{(F)(ETc)(E_{LL} E_g)}{q_g Ea} 60 \quad (3)$$

em que:

T_i - tempo de irrigação, min;

F - fator de correção da evapotranspiração (1 ou 1,2 para tratamento com reposição de 100 e 120% da ETc, respectivamente);

ETc - evapotranspiração de cultivo, mm dia⁻¹;

E_{LL} - espaçamento entre linhas laterais, m;

E_g - espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

q_g - vazão do emissor, L h⁻¹;

Ea - eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Variáveis relacionadas à cultura

As variáveis de crescimento foram obtidas a partir dos 29 dias após a germinação (DAG) e a cada 14 dias para as variáveis: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC) e número de folhas (NF) acompanhando sempre as mesmas plantas deste o início até o final do experimento, devidamente identificadas.

No final do experimento foram contabilizadas as variáveis: produtividade de sementes (PS), teor de óleo das sementes e fitomassa da parte aérea (FTA) das plantas.

Altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC)

A altura da planta (AP) foi medida em centímetros, entre o colo da planta e a extremidade final da planta, utilizando uma trena milimetrada. O diâmetro do caule (DC) foi medido utilizando um paquímetro (mm), com leituras realizadas na região do colo da planta.

Produtividade de sementes (PS)

A produtividade de sementes (kg ha^{-1}) foi contabilizada para cada parcela por meio de uma média aritmética entre os pesos de sementes observados para cada uma das quatro plantas úteis da parcela (kg/planta), multiplicado por 10.000 que corresponde a quantidade de plantas por hectare, considerando o espaçamento de 1,0 x 1,0 m.

Teor de óleo das sementes

O teor de óleo das sementes foi determinado no Laboratório de Química Tecnológica da EMBRAPA-CNPA em Campina Grande-PB, mediante o uso da técnica da ressonância magnética nuclear, em espectrômetro (MQA 7005, Oxford, Inglaterra). De cada amostra foram feitas três leituras, calculando-se a média como valor da parcela.

Fitomassa da parte aérea (FTA)

Toda parte aérea da planta foi acondicionada em sacos de papel devidamente identificados. As amostras foram secas em estufa com ventilação forçada de ar a temperatura de 60 °C até massa constante. A massa foi obtida em balança digital semi-analítica ($\pm 0,01$ g).

Análises estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância e de médias, utilizando o software SAEG 9.0 (UFV, Viçosa, Brasil). Aos resultados significativos pelo teste F, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias. Quando houve interação significativa (Tipos de água *versus* Lâminas de irrigação) os graus de liberdade foram decompostos (Gomes, 1982; Ferreira, 2000; Santos & Gheyi, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura de planta (AP)

De acordo com os resultados obtidos na análise de variância (Tabela 6) houve efeito altamente significativo dos tipos de água utilizados (TA) sobre a altura das plantas (AP), para as cinco épocas de avaliação. Não houve efeito significativo para o fator lâmina (L), nem para a interação (TA x L), em nenhuma das épocas avaliadas.

Tabela 6. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para altura de plantas (AP) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ibimirim-PE, 2010.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		AP29	AP43	AP57	AP71	AP86
Tipo de água (TA)	3	80,16**	545,10**	1.528,15**	1.124,66**	969,61**
Lâmina de irrigação (L)	1	16,66 ^{NS}	3,00 ^{NS}	1,13 ^{NS}	105,26 ^{NS}	491,18 ^{NS}
Blocos	3	19,95 ^{NS}	104,55 ^{NS}	750,67*	841,65*	610,35*
Interação (TA x L)	3	18,84 ^{NS}	32,49 ^{NS}	157,04 ^{NS}	269,72 ^{NS}	276,16 ^{NS}
Resíduo	21	15,19	93,71	186,71	144,06	190,99
CV (%)	-	15,60	22,50	18,20	12,50	12,90
Tipo de água (TA)		Média (cm)				
A1 - UASB + LP		28,22 a	50,00 a	84,04 a	100,75 a	109,22 ab
A2 - DG + FA + LE		26,23 a	47,83 a	80,60 a	96,25 a	106,78 ab
A3 - FA + LE		24,47 ab	42,10 ab	80,89 a	105,77 a	118,88 a
A4 - AA		20,77 b	31,54 b	54,37 b	78,52 b	92,24 b
Lâmina de irrigação (L)		Média (cm)				
L1 = 100%ETc		24,20	42,56	74,79	93,51	102,86
L2 = 120%ETc		25,65	43,18	75,16	97,13	110,70

^{NS} não significativo ($P > 0,05$); * significativo ($P < 0,05$); ** significativo ($P < 0,01$) pelo teste F. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre as médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A ausência de interação significativa entre fatores (TA x L) indica que o efeito dos tipos de água sobre a altura das plantas independe das lâminas de irrigação aplicadas.

Observando a Figura 9A e 9B, é importante destacar que as plantas cresceram de forma mais acentuada entre os 29 e 57 DAG, diminuindo a intensidade nos períodos seguintes. Pelo teste de comparação de médias, verifica-se que altura das plantas irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado não diferiram entre si ao nível de 5% de

probabilidade, durante todo experimento, evidenciando que as diferentes configurações de tratamento do esgoto utilizados (reator UASB, Decanto-Digestor+Filtro anaeróbio e Filtro anaeróbio) não influenciaram no crescimento da mamoneira no que diz respeito a AP.

Neste trabalho, o valor médio estimado para AP foi superior a 118 cm para as plantas que receberam água efluentes. Este valor é superior aos 114,43 cm observados por Silva et al. (2009) em estudo com o mesmo cultivar. Já Rodrigues et al. (2009) trabalhando com níveis de reposição de água residuária de esgoto doméstico, em trabalho conduzido em casa de vegetação, para as cultivares BRS Nordestina e Paraguaçu, observaram valores de 142 e 136 cm, respectivamente para cada cultivar. Todavia, os valores de AP obtidos neste trabalho são inerentes a própria característica genética da planta, que é de pequeno porte.

Lembrando que não foi realizado nenhum tipo de adubação antes do experimento, o aporte de nutrientes para o crescimento da mamoneira foi proveniente, em grande parte, da água residuária utilizada na irrigação, principalmente quanto ao nitrogênio, nutriente de maior importância no crescimento das plantas. Neste estudo o aporte médio de nitrogênio ao longo do experimento foi de 106,9; 74,32; e 84,3 mg L⁻¹, respectivamente, para os efluentes do reator UASB+LP, DG+FA+LE e FA+LE. Estes valores são superiores às concentrações registradas em outros estudos com efluentes de origem doméstica: aproximadamente 39,07 mg L⁻¹ (Rodrigues et al., 2009); 50,0 mg L⁻¹ (Medeiros et al., 2005) e 60,5 mg L⁻¹ (Alves et al., 2009).

Durante todas as épocas de avaliação verificou-se, como já era esperado, que a altura das plantas irrigadas com água de abastecimento foi significativamente menor (92 cm).

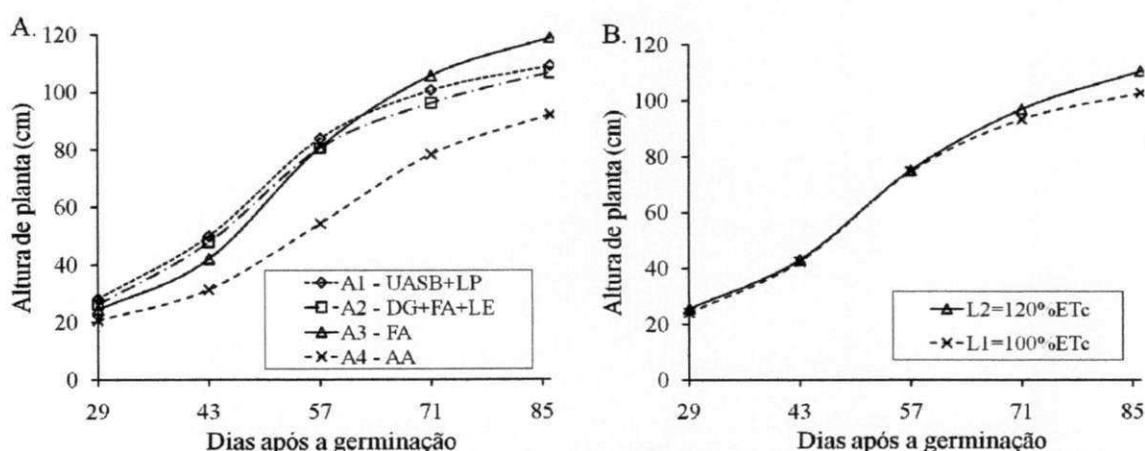


Figura 10. Variação temporal da altura de planta da mamoneira por tipo de água (A) e por lâmina aplicada (B). Ibibimirim-PE, 2010.

Diâmetro de caule (DC)

À semelhança da AP, o diâmetro de caule sofreu efeito altamente significativo dos tipos de água (TA) utilizados na irrigação, em todas as épocas avaliadas (Tabela 7). Para o fator Lâmina de irrigação (L) e para interação (TA x L) não foram identificados efeitos significativos para as cinco épocas avaliadas.

Tabela 7. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para diâmetro de caule (DC) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ibimirim-PE, 2010.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		DC29	DC43	DC57	DC71	DC86
Tipo de água (TA)	3	6,98**	29,94**	42,88**	39,64**	28,38**
Lâmina de irrigação (L)	1	0,22 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,32 ^{NS}	3,55 ^{NS}	5,60 ^{NS}
Blocos	3	1,30 ^{NS}	14,73 ^{NS}	24,40*	21,30**	15,96*
Interação (TA x L)	3	0,72 ^{NS}	1,59 ^{NS}	1,85 ^{NS}	7,30 ^{NS}	10,81 ^{NS}
Resíduo	21	1,21	5,42	5,90	4,10	3,61
CV (%)	-	13,10	19,20	14,92	10,23	8,90
Tipo de água (TA)		Média (mm)				
A1 - UASB + LP		9,11 a	13,71 a	17,45 a	20,55 a	21,85 a
A2 - DG + FA + LE		9,22 a	13,46 a	17,43 a	20,63 a	22,11 a
A3 - FA + LE		7,95 ab	11,51 ab	17,43 a	21,42 a	22,68 a
A4 - AA		7,28 b	9,56 b	12,81 b	16,48 b	18,51 b
Lâmina de irrigação (L)		Média (mm)				
L1 = 100%ETc		8,47	11,90	16,18	19,44	20,87
L2 = 120%ETc		8,30	12,22	16,38	20,10	21,70

^{NS} não significativo (P > 0,05); * significativo (P < 0,05); ** significativo (P < 0,01) pelo teste F. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre as médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Analisando o efeito dos tipos de água utilizados na irrigação da mamona, observa-se que não houve diferença significativa para variável DC quando se utilizou na irrigação, os efluentes A1, A2 e A3. Os valores DC obtidos para estes tipos de água foram significativamente superiores aos encontrados quando se utilizou água de abastecimento. No final do experimento, o diâmetro caulinar das plantas que receberam efluentes foi 27,7% superior ao diâmetro de caule da plantas irrigadas com água de abastecimento.

Observando a Figura 10A e 10B, é possível constatar que mamoneira cresce de forma mais acentuada até aos 71 DAG para todos os tipos de água estudados. Quanto maior o diâmetro do caule das plantas, maior vigor e robustez e, portanto, maior resistência ao tombamento e ao ataque de pragas.

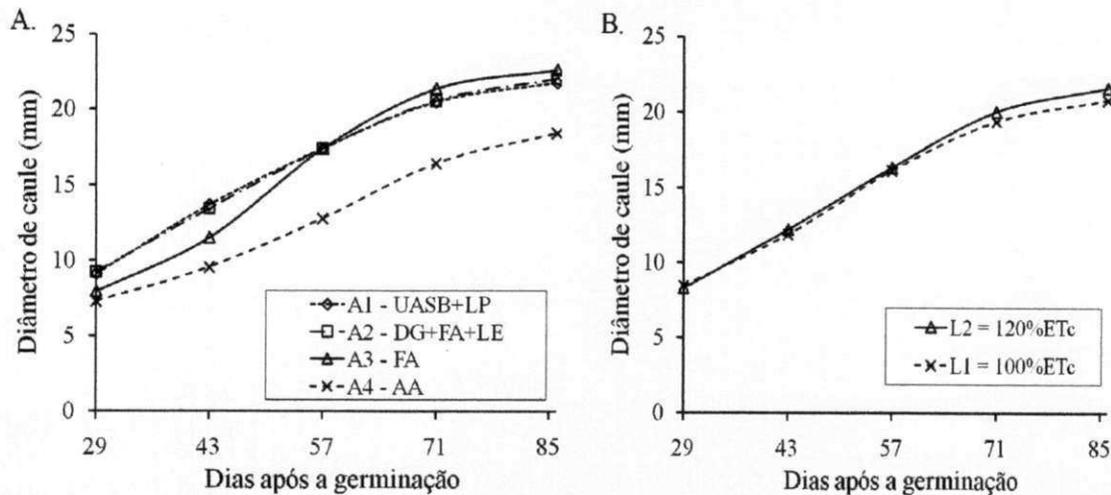


Figura 11. Variação temporal do diâmetro de caule da mamoneira por tipo de água (A) e por lâmina aplicada (B). Ibimirim-PE, 2010.

Na presente pesquisa, o valor médio observado para DC quando se utilizou efluentes foi superior a 22,0 mm. Silva et al. (2009) em pesquisa com o mesmo cultivar observaram, para diâmetro de caule, valores superiores a 18,0 mm. Rodrigues et al. (2009) em pesquisa conduzida em ambiente protegido, trabalhando com níveis de reposição de água residuária observaram valor médio de 32 mm, para as variedades BRS Nordestina e Paraguaçu. Xavier et al. (2009) utilizando águas residuárias provenientes de três indústrias de Campina Grande-PB, observaram diferenças significativas entre os diâmetros de caule das plantas da cultivar BRS Nordestina, as diferenças foram atribuídas ao aporte de nutrientes das águas. Nascimento et al. (2004a) observaram que os maiores valores para circunferência de caule da mamona aconteceram quando as mesmas foram irrigadas com água residuária doméstica tratada em reator UASB. Mas uma vez fica evidenciado o efeito do aporte de nutrientes via água de irrigação, no crescimento da mamoneira.

Número de folhas (NF)

Para variável número de folhas (NF) os resumos das análises de variância encontram-se na Tabela 8. Observa-se que os tipos de água (TA) e as lâminas de irrigação (L) afetaram o número de folhas (NF) ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, aos 29 DAG. Para as demais épocas de observação, à semelhança da altura de planta, houve efeito significativo a 1% de probabilidade para o fator tipos de água, não havendo efeito significativo para o fator lâmina de irrigação.

Tabela 8. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para número de folhas (NF) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação. Ibitimirim-PE, 2010.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		NF29	NF43	NF57	NF71	NF86
Tipo de água (TA)	3	3,80*	128,11*	898,31**	835,36**	869,32**
Lâmina de irrigação (L)	1	4,88*	16,67 ^{NS}	68,15 ^{NS}	69,03 ^{NS}	291,00 ^{NS}
Blocos	3	1,82 ^{NS}	66,81**	131,82 ^{NS}	436,78**	337,27*
Interação (TA x L)	3	0,21 ^{NS}	7,20 ^{NS}	30,96 ^{NS}	69,45 ^{NS}	118,46 ^{NS}
Resíduo	21	0,95	20,16	59,16	61,80	106,86
CV (%)	-	12,00	25,40	17,90	14,40	15,50
Tipo de água (TA)		Média				
A1 - UASB + LP		8,84 a	20,47 a	47,13 a	57,00 a	67,00 a
A2 - DG + FA + LE		8,28 ab	20,57 a	49,38 a	59,37 a	64,18 ab
A3 - FA + LE		8,00 ab	17,57 ab	48,03 a	62,37 a	75,00 ab
A4 - AA		7,18 b	12,03 b	27,07 b	39,62 b	59,52 b
Lâmina de irrigação (L)		Média				
L1 = 100%ETc		8,46 a	18,38	44,36	53,12	63,41
L2 = 120%ETc		7,68 b	16,97	41,45	56,06	69,4

^{NS} não significativo ($P > 0,05$); * significativo ($P < 0,05$); ** significativo ($P < 0,01$) pelo teste F. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre as médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com o teste de comparação de médias (Tabela 8), aplicado para o fator tipos de água (TA), observa-se a superioridade das plantas cultivadas com diferentes tipos de efluentes em relação àquelas cultivadas com água de abastecimento.

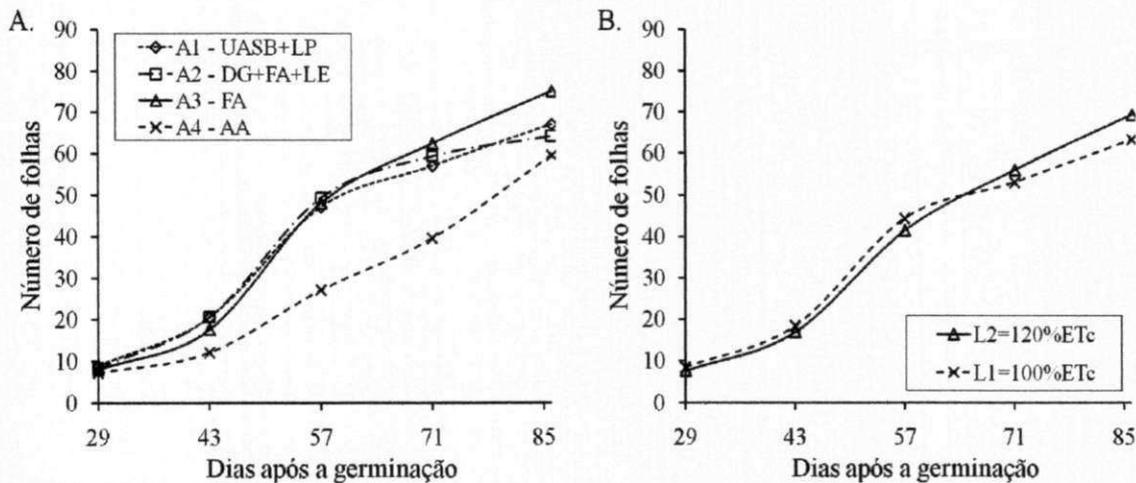


Figura 12. Variação temporal do número de folhas da mamoneira por tipo de água (A) e por lâmina aplicada (B). Ibitimirim-PE, 2010.

Pela Figura 11A, observa-se que as maiores diferenças significativas para o NF de plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3 em relação às plantas irrigadas com água de abastecimento aconteceu aos 57 e aos 71 DAG. Aos 85 DAG as plantas irrigadas com

efluente A1, possuíam NF superior em relação aos demais tipos de água utilizados, provavelmente devido à elevada concentração de nitrogênio no efluente do reator UASB associado à lagoa de polimento. No presente trabalho, o NF encontrado ao final do experimento foi superior ao encontrado por Rodrigues et al. (2009), que em pesquisa com níveis de reposição de água residuária de origem doméstica, encontraram NF=36 e 41 para mamoneira BRS Nordestina e Paraguaçu, respectivamente.

Produtividade de sementes (PS)

Para produtividade de sementes da mamona BRS Energia, variável mais importante do ponto de vista econômico, foram observados efeitos significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, para o fator tipo de água (TA) e lâmina de irrigação (L). Não sendo observado efeito significativo para interação (TA x L), conforme apresentado na Tabela 9.

Em relação ao tipo de água (TA), observa-se que a produtividade de sementes para as plantas que foram irrigadas com diferentes tipos de efluentes foram superiores às das plantas irrigadas com água de abastecimento. Como não foi realizado qualquer tipo de adubação inicial, infere-se que o incremento de produtividade da mamoneira ocorreu devido ao aporte de nutrientes via água residuária. Neste trabalho a produtividade média de sementes foi de 1.923,28; 1.539,16 e 1.744,77 kg ha⁻¹, respectivamente para plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3. Pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, estes valores, não diferem entre si. Já a produtividade obtida para água de abastecimento (1.375,54 kg ha⁻¹) difere apenas daquela observada para plantas irrigadas com o efluente A1. A produtividade de sementes obtida com o uso do efluente A1 foi 28% maior que a produtividade obtida com o uso de água de abastecimento. Os resultados de produtividade de sementes obtidos no presente trabalho aproximam-se do valor médio indicado pela EMBRAPA (Tabela 4). Vários estudos indicam o aumento da produtividade das culturas agrícolas devido à irrigação com efluentes (Kiziloglu et al., 2008; Blum et al., 2009; Fonseca et al., 2007).

Em relação à lâmina de irrigação (L), de acordo com o teste de média (Tabela 9) a produtividade para L2 (120% ETc) foi significativamente superior aquela obtida para L1 (100% ETc), confirmando a hipótese de quanto maior o volume aplicado, maior o aporte de nutrientes e maior a lixiviação de sais. Rodrigues et al. (2009) verificaram produções de sementes da mamoneira oscilando de 81,0 a 191,5 g por planta, com correspondência

de 60 a 120% de reposição da ETC. Nascimento et al. (2004b) concluíram que a água residuária de origem doméstica tratada em reator UASB influenciou significativamente todos os componentes de produção da mamona, com destaque para a produção de sementes por planta, que atingiu $630,68 \text{ g planta}^{-1}$, muito superior à obtida com água de abastecimento e adubação N-P-K, $31,08 \text{ g planta}^{-1}$.

Os valores de produtividade encontrados nesta pesquisa são superiores aos encontrados por diversos autores. Albuquerque et al. (2006) sob condições de precipitação média de 600 mm e adubação mineral, utilizando genótipos de porte baixo cultivados no semiárido alagoano, obtiveram para a CSRN-393 $901,69 \text{ kg ha}^{-1}$ e para a CSRD-2 $792,51 \text{ kg ha}^{-1}$ de sementes. Lopes et al. (2006) obtiveram para as cultivares de porte médio BRS Nordestina $1.448,00 \text{ kg ha}^{-1}$ e BRS Paraguaçu $1.105,00 \text{ kg ha}^{-1}$; Milani et al. (2006), com genótipos de porte baixo CSRN 379 $1.379,10 \text{ kg ha}^{-1}$ e CSRN 393 $1.614,60 \text{ kg ha}^{-1}$; Silva et al. (2006) CSRN 379 $841,40 \text{ kg ha}^{-1}$ e CSRN 393 $665,30 \text{ kg ha}^{-1}$ e CSRN 142 $1.076,70 \text{ kg ha}^{-1}$.

Por outro lado, os valores médios obtidos durante este estudo encontram-se próximos dos resultados obtidos por Gondim et al. (2006), que aplicando 585,70 mm de lâmina de irrigação somados com uma precipitação no final do experimento 236,60 mm, obteve produtividade para a CSRN 142 de $2.016,95 \text{ kg ha}^{-1}$ e Silva et al. (2009) que em pesquisa com mamona BRS Energia no sertão cearense, observaram rendimento médio para maior lâmina de água (668,53 mm) de $1.928,43 \text{ kg ha}^{-1}$.

Produtividades maiores foram obtidas por outros autores como: Carvalho (2005) utilizando pivô central no município baiano de Santana, com as variedades BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, $5.400,00 \text{ kg ha}^{-1}$. Gondim et al. (2004), em genótipos de porte baixo irrigados por aspersão em Barbalha-CE, obtiveram produtividade de $3.494,0 \text{ kg ha}^{-1}$ na CSRN 142, além de Milani et al. (2006) que na região de Irecê-BA, observou produtividade de $3.575,10 \text{ kg}$ de sementes por hectare no genótipo CNPAM 2001-50.

Confrontando os resultados da presente pesquisa com os da literatura, apresentados anteriormente, observa-se que a produtividade de sementes da mamona BRS Energia irrigada com diferentes tipos de efluentes foi suficiente para manter agronomicamente a cultura e atingir níveis de produtividade aceitáveis.

O aporte de P devido a irrigação com os efluentes A1, A2 e A3 foi de 10,3; 8,7 e 9,4 mg L^{-1} , respectivamente. Segundo Malavolta (1996), o P desempenha a função de converter energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas e promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, o crescimento da planta, afeta a qualidade dos frutos e

dos grãos e é vital para a formação de sementes. O que explica a qualidade e a produtividade de sementes obtidas na presente pesquisa.

Teor de óleo das sementes

O resumo da análise de variância para variável Teor de óleo encontra-se na Tabela 9. Observa-se efeito significativo, a 5% de probabilidade, tanto para o fator tipo de água (TA) quanto para o fator lâmina de irrigação (L). Não sendo observado efeito significativo para interação entre fatores (TA x L).

Os resultados obtidos no presente trabalho relativos ao teor de óleo das sementes de mamona BRS Energia estão de acordo com o valor apresentado pela EMBRAPA (ver Tabela 4).

Pelo teste de médias aplicado para o fator tipo de água (TP) verifica-se que o teor de óleo das sementes de plantas irrigadas com o efluente A3, foi significativamente menor que os teores de óleo observados para os demais tipos de água. Souza et al. (2010) observaram resultado semelhante em pesquisa com a variedade BRS Nordestina, em que as plantas que receberam efluente de reator UASB, apresentaram menor teor de óleo extraído do que aquelas irrigadas com água de abastecimento e adubação mineral. Os valores extraídos foram de 4,5 e 28,5% de óleo plantas irrigadas com efluente do UASB e água de abastecimento, respectivamente.

Em relação as lâminas de irrigação (L) o teor de óleo foi significativamente superior para as plantas irrigadas com 120% da evapotranspiração de cultivo. Rodrigues (2008) observou o mesmo comportamento para esta variável, em pesquisa com diferentes níveis de reposição de água residuária. Segundo o referido autor, este fato denota que a disponibilidade de água afeta de maneira expressiva o teor de óleo das sementes.

É importante observar que apesar do teor de óleo observado para água de abastecimento ser estatisticamente igual ao obtido com o efluente A1, a produtividade de óleo para água residuária será maior.

Fitomassa da parte aérea das plantas (FPA)

Aos 150 dias após a germinação, a fitomassa da parte aérea (FPA) foi afetada tanto pelos tipos de água utilizados na irrigação (TA), quanto pelas lâminas aplicadas (L), ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 9).

Considerando o fator tipo de água (TA) observou-se que a fitomassa da parte aérea das plantas irrigadas com os efluentes A1 e A2, apresentaram os maiores valores e não diferem estatisticamente entre si. Para as plantas irrigadas com o efluente A3 observou-se que os valores de FPA são estatisticamente iguais e superiores aos valores encontrados para plantas irrigadas com água de abastecimento.

Como discutido anteriormente, verifica-se o efeito benéfico do aporte de nutrientes devido ao uso dos efluentes na variável FPA. Os maiores obtidos foram de 412 e 344 g planta⁻¹, respectivamente para plantas irrigadas com os efluentes A1 e A2.

A FPA foi significativamente maior para plantas que receberam 120% da ETC, novamente confirmando a hipótese de que quanto maior o volume de água aplicado maior o aporte de nutrientes ao sistema agrícola. Rodrigues (2008) em estudos com duas variedades de mamona (BRS Nordestina e Paraguaçu) observou que ao final do experimento a fitomassa total média produzida foi cerca de 408 g planta⁻¹ e enquanto Barros Junior et al. (2008) verificaram, nas mesmas cultivares, fitomassa total média de 1.393,45 g planta⁻¹, na condição de 100% de água disponível e em plantas adequadamente adubadas.

Tabela 9. Resumo das análises de variância e de médias da mamoneira BRS Energia para produtividade sementes (PS), teor de óleo e fitomassa da parte aérea (FPA) ao final do experimento. Ibimirim-PE, 2010.

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio		
		PS	Teor de óleo	FPA
Tipo de água (TA)	3	456.320,3**	7,9457*	104.388,9**
Lâmina de irrigação (L)	1	675.763,7*	8,3045*	40.662,69**
Blocos	3	108.615,5 ^{NS}	1,6272 ^{NS}	16.389,23**
Interação (TA x L)	3	29.870,29 ^{NS}	0,2209 ^{NS}	3.004,86 ^{NS}
Resíduo	21	92.784,33	1,8415	2.921,45
CV (%)	-	18,50	2,78	17,40
		Média		
Tipos de água (TA)		kg ha ⁻¹	%	g planta ⁻¹
A1 - UASB + LP		1.923,28 a	48,20 ab	412,18 a
A2 - DG + FA + LE		1.539,16 ab	48,70 ab	344,86 ab
A3 - FA + LE		1.744,37 ab	47,65 b	333,75 b
A4 - AA		1.375,54 b	49,89 a	145,90 c
		Média		
Lâmina de irrigação (L)		kg ha ⁻¹	%	g planta ⁻¹
L1 = 100%ETc		1.500,27 b	48,21 b	273,52 b
L2 = 120%ETc		1.790,91 a	49,23 a	344,82 a

^{NS} não significativo (P > 0,05); *significativo (P < 0,05); **significativo (P < 0,01) pelo teste F. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre as médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ressalta-se que nesta pesquisa em discussão, não foram realizadas adubações em nenhuma época ao longo do ciclo da mamona. Em pesquisa realizada com oleaginosas, Pinto (2006) verificou que a deficiência hídrica reduziu o acúmulo de matéria seca total, de forma mais intensa na mamona (75%) do que no amendoim e gergelim (50%).

CONCLUSÕES

1. Não houve diferença estatística entre as três configurações de tratamento de esgoto utilizadas para as variáveis AP, DC, NF e PS.
2. Os valores das variáveis AP, DC, NF e PS foram superiores para as plantas irrigadas com os três tipos de efluentes, tomando como referência as plantas irrigadas com água de abastecimento.
3. Observou-se um incremento de 28% na produtividade de sementes quando se utilizou o efluente A1 em relação a irrigação com água de abastecimento.
4. A Lâmina correspondente a 120% da ETc foi a que proporcionou maior produtividade de sementes, maior fitomassa da parte aérea e maior teor de óleo.
5. A interação entre os fatores estudados (TA x L) não afetou significativamente as variáveis de crescimento nem as de produção.
6. O uso efluentes é viável para manutenção agronômica da mamona BRS Energia em termos de crescimento e produtividade de sementes, constituindo-se numa maneira inteligente de reciclar água e nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, M.M. de; Costa, J.G. da; Milani, M.; Oliveira, F.F. de. Novas linhagens de mamona avaliadas no semi-árido alagoano. In: Congresso Brasileiro da Mamona, 2, 2006, Aracajú. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD Rom.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. Irrigation and Drainage. Paper 56. 297p.

Al-Nakshabandi, G.A.; Saqqar, M.M.; Shatanawi, M.R.; Fayyad, M.; Al-Horani, H. Some environmental problems associated with the use treated wastewater for irrigation in Jordan, *Agricultural Water Management*, v.34, n.1, p.81-94, 1997.

Alves, W.W.A.; Azevedo, C.A.V.; Dantas Neto, J.; Lima, V.L.A. Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubado com nitrogênio e fósforo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa*, v.4, n.1, p.41-46, 2009.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. Standard methods for examination of water and wastewater. 19 ed. Washington, DC: APHA, 1995. 1082p.

Azevedo, D.M.P. de; Nóbrega, L.B. da; Lima, E.F.; Batista, F.A.S.; Beltrão, N.E. de M. Manejo cultural. In: Azevedo, D.M.P. de; Lima, E.F. (eds.). *O agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.121-160.

Barros Junior, G.; Guerra, H.O.C.; Cavalcanti, M.L.F.; Lacerda, R.D. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.350-355, 2008.

Blum, J.; Leal, R.M.P.; Montes, C.R.; Melfi, A.J. Influência do manejo na sustentabilidade do uso agrícola de efluentes: estudo de caso com cana-de-açúcar em Lins-SP, *Revista DAE*, n.180, p.61-66, 2009.

Carvalho, B.C.L. Manual do cultivo da mamona. Salvador: EBDA, 2005. 65p.

Cavallet, L. E.; Lucchesi, L. A. C., Moraes, A. de M.; Schimidt, E.; Perondi, M. A.; da Fonseca, R.A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.724-729, 2006.

EMBRAPA. BRS - Energia. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2007. Folder.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.

Ferreira, P.V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.

Fonseca, A.F.; Melfi, A.J.; Monteiro, F.A.; Montes, C.R.; Almeida, V.V.; Herpin, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for tifton 85 bermudagrass, *Agricultural Water Management*, v.87, p.328-336, 2007.

Gharaibeh, M.A.; Eltaif, N.I.; Al-Abdullah, B. Impact of field application of treated wastewater on hydraulic properties of vertisols, *Water Air Soil Pollut*, v.184, n.1-4, p.347-353, 2007.

Gomes, F.P. Curso de estatística experimental. 3.ed. Piracicaba: São Paulo: Nobel, 1982. 436p.

Gondim, T.M. de S.; Milani, M.; Vasconcelos, R.A.; Freitas, H.E.C.D.S. de; Nóbrega, M.B. de; Pereira J.R.; Produção de genótipos de mamoneira (*Ricinus communis*L.) no cariri cearense, sob irrigação. In: Congresso Brasileiro da Mamona, 2, 2006, Aracajú. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD Rom

Gondim, T.M. de S.; Nóbrega, M.B. de; Severino, L.S.; Asconcelos, R.A. de. Adensamento de mamoneira sob irrigação em Barbalha, CE. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD Rom

Kiziloglu, F.M.; Turan, M.; Sahin, U.; Kuslu, Y.; Dursun, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey, *Agricultural Water Management*, v.95, n.6, p.716-724, 2008.

LAMEPE - Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. Acesso em: 01 Nov. 2010.

Léon, S.G.; Cavallini, J.M. Tratamento e uso de águas residuárias. Tradução de Gheyi, H.R.; Konig, A.; Caballos, B.S.O.; Damasceno, F.A.V. Campina Grande, UFPB. 109p. 1999.

Lopes, G.U.M.; Oliveira, L.A.A.; Shimoya, A.; Andrade, W.E. de B.; Rego Filho, L. de M; Competição de genótipos de mamoneira no período outono-inverno em Itaocara, RJ. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2, 2006, Aracajú. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD Rom.

Lubello, C.; Gori, R.; Nicese, F. P.; Ferrini, F. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. *Water Research*, v.38, p.2939-2947, 2004.

Malavolta, E. Nutri-fatos: informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas. Arquivo do Agrônomo. Piracicaba: Potafos, 1996, n.10, 24p.

- Medeiros, S.S.; Soares, A.A.; Ferreira, P.A.; Neves, J.C.L.; Matos, A.T.; Souza, J.A.A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- Milani, M.; Andrade, F.P. de; Nóbrega, M.B. de M.; Silva, G. A.; Mota, J.R.; Miguel Júnior, S.R.; Dantas, F.V.; Sousa, R de L.; Avaliação de genótipos de porte baixo de mamona na região de Irecê/BA. In: Congresso Brasileiro da Mamona, 2, 2006, Aracajú. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD Rom
- Moraes, L.M.; Paula Júnior, D.R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.2, p.445-454, 2004.
- Nascimento, M.B.H.; Lima, V.L.A.; Beltrão, N.E. de M.; Souza, A.P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004a. 5p. CD Rom
- Nascimento, M.B.H.; Lima, V.L.A.; Beltrão, N.E. De M.; Souza, A.P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: componentes de produção. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004b. 5p. CD Rom
- Pinto, C.M. Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006. 80p. Dissertação de Mestrado
- Richards, L.A. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos e sodicos. United States Department of Agriculture (USDA), México, D.F. 1977. 172p.
- Rodrigues, L.N.; Nery, A.R.; Fernandes, P.D.; Beltrão, N.E. de M.; Gheyi, H.R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. *Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, suplemento, p.825-835, 2009.
- Santos, J.W.; Gheyi, H.R. Estatística experimental aplicada: Tópicos de engenharia agrícola e agrônômica. Campina Grande: Gráfica Marccone Ltda., 2003. 213p.
- Silva, S.D. dos A.; Ueno, B.; Milani, M.; Aires, R.F.; Casagrande Júnior, G. Desempenho agrônômico de genótipos de mamona em região de clima temperado, safra 2005/06. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2, Aracajú. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD Rom.
- Silva, S.M.S.; Gheyi, H.R.; Beltrão, N.E.M.; Santos, J.W.; Soares, F.A.L. Dotações hídricas em densidades de plantas na cultura da mamoneira cv. BRS Energia. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.3, p.338-348, 2009.

Souza, N.C. de; Mota, S.B.; Bezerra, F.M.L.; Aquino, B.F. de; Santos, A.B. dos. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.5, p.478-484, 2010.

Xavier, J. de F.; Azevedo, C.A.V. de; Beltrão, N.E. de M.; Andrade, A.R.S.; Lima, V.L.A. de. Crescimento da mamoneira sob diferentes tipos de águas residuárias e níveis de água no solo. Revista Ambi-Água, v.4, p.196-210, 2009.

CAPÍTULO 2

Fertirrigação da mamona cv. BRS Energia com efluentes de esgoto doméstico: fertilidade do solo e estado nutricional da planta

RESUMO

Um experimento com a cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar BRS Energia foi implantado no Município de Ibimirim, PE com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes tratamentos de água residuária de esgoto doméstico, água de abastecimento e lâminas de irrigação no estado nutricional da planta e na fertilidade do solo ao final do experimento. Utilizou-se delineamento em blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições. Adotou-se um esquema fatorial com quatro tipos de água (A1 - Efluente do reator UASB + Lagoa de Polimento; A2 - Efluente do Decanto-Digestor + Filtro Anaeróbio + Lagoa de Estabilização; A3 - Efluente do Filtro Anaeróbio + Lagoa de Estabilização e A4 - Água de Abastecimento) e duas lâminas de irrigação (L1=100 e L2=120% da Evapotranspiração de cultivo). A água foi aplicada utilizando um sistema de irrigação localizada por gotejamento com irrigações a cada três dias. De acordo com os resultados, constatou-se que os teores de P, K e Na no solo não diferiram, sob as três configurações de tratamento de água residuária. Por meio da análise foliar da mamona, constatou-se que, de maneira geral, a planta não sofreu restrições quanto aos teores de P, Ca e Mg. As concentrações de N, K e Na nos tecidos foliares foram significativamente iguais, para as plantas irrigadas com efluente tratado.

Palavras-chave: reúso de água, irrigação, análise foliar, nutrientes.

Fertigation of castor bean with wastewater from treated sewage, soil fertility and plant nutritional

ABSTRACT

An experiment with the cultivation of castor beans was deployed in the city of Ibimirim, PE with the aim of evaluating the effect of different treatments of wastewater from domestic sewage, water supply and water depth in plant nutritional status and fertility of the soil end of the experiment. The experimental design was randomized blocks with eight treatments and four replications. The treatments were defined from the factorial combination of four types of water (A1 - effluent from the UASB reactor + Polishing Pond; A2 - effluent from the Digester Decant + Anaerobic Filter + Stabilization Pond; A3 - effluent from the Anaerobic Filter + Stabilization Pond; and A4 - Urban water supply) and two irrigation depths (L1=100 and L2=120% of Crop Evapotranspiration). Water was applied using a drip irrigation system every three days. According to the results, concentrations of P, K and Na in the soil were not statistically different, considering the three configurations of wastewater treatment. In general, the plant suffered no restrictions regarding the contents of P, K and Mg. The concentrations of N, K and Na in the leaf tissues were significantly equal for plants irrigated with treated effluent.

Key words: water reuse, irrigation, leaf analysis, nutrient

INTRODUÇÃO

Com a diminuição da oferta de água potável em todas as regiões do mundo, o aproveitamento de águas residuárias na irrigação das culturas agrícolas torna-se uma alternativa atrativa e viável, pois tais águas são ricas em nutrientes benéficos às plantas, porém, com grande potencial para poluição se lançadas diretamente em rios e lagos.

Vários pesquisadores têm observado que o uso de efluente de esgoto tratado na agricultura pode aumentar a produtividade das culturas agrícolas devido ao aporte considerável de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (Silva, 2007; Rodrigues et al. 2009; Medeiros et al., 2005; Cavallet et al., 2006; Deon et al., 2010; Sousa et al., 2005; Samaras et al., 2009).

A grande vantagem do reúso agrícola está relacionada a aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. O aproveitamento de efluentes, seja de drenagem agrícola ou de esgotos, na produção agrícola, contribui para preservação da qualidade dos recursos hídricos, trazendo benefícios para as culturas agrícolas. Em locais de pouca disponibilidade de água, como é o caso da região semiárida do nordeste brasileiro, a utilização de esgotos domésticos tratados pode vir a ser um fator decisivo para produção em períodos de estiagem, com considerável economia nos custos devido à possibilidade da diminuição, ou mesmo, da não utilização de adubação química.

No processo de tratamento de efluentes por disposição no solo, o sistema solo-planta é utilizado para degradação, assimilação e imobilização dos constituintes da água residuária. Medeiros et al. (2005) reportam que a adoção do manejo utilizando água residuária foi mais efetivo na melhoria das características dos solo em relação ao manejo convencional para cultura do café na região de Viçosa, MG.

Os efeitos da aplicação de água residuária nos atributos físico-químicos do solo, só são fortemente pronunciados após um longo período de aplicação. A principal limitação do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química e a tolerância das culturas a esse tipo de efluente (Ayers & Westcot, 1999; Vogeler, 2009; Xu et al., 2010; Smith et al., 1996).

A absorção de nutrientes pela mamona depende, dentre outros fatores, das concentrações aportadas via água de irrigação, do solo e das condições climáticas do ambiente de cultivo. A avaliação do estado nutricional de plantas irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado é importante, pois, por meio dela é possível decidir se haverá ou não necessidade de complementação do fornecimento de nutrientes, ou ainda se há excesso de algum nutriente (Malavolta et al., 1997). Ainda são poucos os trabalhos que tratam do estado nutricional da mamona com água residuária. Rodrigues (2008) relata que o aporte de nutrientes via água residuária de esgoto doméstico na cultura da mamoneira não foi suficiente para produção de sementes satisfatória aos níveis reportados na literatura especializada. Por outro lado Chiaradia et al. (2009) observaram que a aplicação da dose equivalente a dez toneladas por hectare de lodo de esgoto no cultivo da mamoneira resultou em um índice de eficiência agrônômica de 85%, em relação à adubação mineral.

Objetivo geral

Diante do exposto, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de estudar o efeito de quatro tipos de água (A1 - efluente do reator UASB seguido de Lagoa de Polimento, A2 - efluente do Decanto-Digestor associado a um Filtro anaeróbio seguido de uma Lagoa de Estabilização, A3 - efluente do Filtro anaeróbio seguindo de uma Lagoa de Estabilização e A4 - Água de abastecimento) e duas lâminas de irrigação (L1=100 e 120% da ETc) sobre a fertilidade do solo e estado nutricional da mamoneira, cultivada sob as condições edafoclimáticas da região do semiárido pernambucano.

Hipóteses

- A concentração de nutrientes tanto no solo quanto na mamoneira é diferenciada, dependendo da configuração de tratamento de esgoto utilizada.
- O aporte de efluentes no sistema agrícola melhora a fertilidade do solo.
- A mamoneira não sofrerá restrições importantes de macronutrientes quando fertirrigada com efluentes.

Objetivos específicos

- Estudar o efeito isolado e de interação dos fatores tipos de água e lâminas de irrigação sobre a fertilidade do solo ao final do experimento;

- Estudar o efeito isolado e de interação dos fatores tipos de água e lâminas de irrigação sobre o estado nutricional da mamoneira por ocasião do final do ciclo.
- Verificar se existe diferença entre as três configurações de tratamento de esgoto doméstico sobre a fertilidade do solo e estado nutricional da planta.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e condições edafoclimáticas

O experimento foi conduzido no período de 04 de dezembro de 2009 a 30 de abril de 2010 no município de Ibimirim, PE. A sede do município está localizada na Latitude de 8° 32' 26'' Sul, Longitude de 37° 41' 25'' e Altitude média de 401 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação média anual de 454,0 mm, com a temperatura do mês mais quente superior a 40 °C e a do mês mais frio inferior a 24 °C (LAMEPE, 2010).

A área experimental possuía 28 m de comprimento e 28 m de largura, com relevo plano e o solo predominante na área é o Neossolo Quartzarênico Órtico típico A moderado. A camada de 0 a 66 cm, na qual se encontram os horizontes A e C1, possui 760, 80 e 160 g kg⁻¹, respectivamente de areia, silte e argila o que conduz a uma classificação textural do solo como franco arenosa (EMBRAPA, 2009).

Para determinação da fertilidade do solo no início do experimento, foram coletadas amostras simples de solo na camada de 0 a 0,30 m de forma aleatória, em vários locais da área experimental, em seguida as amostras foram misturadas para formação de uma amostra composta. Os resultados da análise química do solo antes do experimento indicaram: pH em água de 6,60; 5,3 g dm⁻³ de MO; 160 mg dm⁻³ de P; 0,26 cmolc dm⁻³ de K; 2,05 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,35 cmolc dm⁻³ de Mg; 0,82 cmolc dm⁻³ de H; 2,70 cmolc dm⁻³ de S; 3,50 cmolc dm⁻³ de CTC e saturação por bases de 76,4%.

Estação de coleta e tratamento de esgoto doméstico

Foi utilizada uma estrutura de coleta e tratamento do esgoto doméstico proveniente do bairro Lages da cidade de Ibimirim, PE. O esgotamento condominial implantado atende 500 habitações e cerca de 3.000 habitantes, aproximadamente 62% da população total estimada para o referido bairro (Figura 1). Os esgotos gerados pela comunidade são da ordem de aproximadamente 450 m³ dia⁻¹.

O sistema de tratamento preliminar é composto de grade de barras, caixa de areia e calha Parshall. Após esta etapa, o esgoto bruto segue para um poço úmido e estação elevatória de onde é bombeado para os sistemas de tratamento secundário formado por três reatores anaeróbios, confeccionados em fibra de vidro, sendo: (1) reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) dotado de um compartimento anaeróbio com fluxo ascendente também um filtro aeróbio com fluxo descendente em série com uma lagoa de polimento; (2) decanto-digestor associado em série com um filtro anaeróbio seguido de uma lagoa de estabilização; e (3) filtro anaeróbio seguido de uma lagoa de estabilização. Tanto o decanto-digestor quanto o filtro anaeróbio, possuem uma capacidade de tratamento de $8,0 \text{ m}^3 \text{ L dia}^{-1}$, com um tempo de detenção hidráulica de 2,2 h. Tanto a lagoa de polimento quanto as lagoas de estabilização dos efluentes tratados foram dimensionadas de modo que cada uma tivesse as dimensões de 3,0 m de largura, 7,0 m de comprimento e 1,0 m de profundidade, com aproximadamente 21 m^3 de capacidade cada uma.

Delineamento experimental e tratamentos

A unidade de reuso agrícola foi cultivada com mamona cv. BRS Energia. Utilizou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso, com esquema fatorial 4×2 , com quatro repetições, sendo testados 4 tipos de água (A1 - efluente do reator UASB e lagoa de polimento; A2 - efluente do decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio e lagoa de estabilização; A3 - efluente do filtro anaeróbio e lagoa de estabilização; A4 - água de abastecimento) e duas lâminas de irrigação ($L1=100$ e $L2=120\%$ da evapotranspiração da cultura), perfazendo um total de 8 tratamentos. A mamona foi plantada num espaçamento de $1,0 \times 1,0 \text{ m}$. Cada unidade experimental referente a um tratamento foi constituída por uma parcela de 3 m de largura por 6 m de comprimento, totalizando 18 m^2 . O bloco com oito tratamentos teve uma área de 144 m^2 , assim a área experimental total teve 576 m^2 . As parcelas experimentais foram compostas por 18 plantas sendo 4 úteis.

Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi feito com base na evapotranspiração de cultivo (ETc) de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura. A evapotranspiração de referência (ETo) foi determinada pelo modelo de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1988). Os dados necessários para o cálculo da ETo foram obtidos diariamente por meio de uma

estação meteorológica de aquisição automática de dados instalada próximo a área experimental. O cálculo da ETc, foi realizado em tempo real ao longo do experimento de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura. As irrigações foram feitas com frequência de três dias onde se aplicavam duas lâminas de irrigação (L1=100 e L2=120% ETc).

Análise de fertilidade do solo ao final do experimento

Para avaliar o impacto das diferentes configurações de tratamento de esgoto doméstico sobre a fertilidade do solo após o cultivo da mamona, foram determinados os seguintes atributos do solo, para camada de 0-20 cm: P, K, Ca, Mg, Na, pH, e Matéria Orgânica (MO), segundo metodologia da EMBRAPA (1997). As amostras de solo foram coletadas paralelamente à linha de plantio nos dois lados a uma distância de aproximadamente de 0,15 m do caule da mamona. Tais amostras foram coletadas ao lado de uma das quatro plantas centrais de capa parcela experimental.

No caso do pH, a análise de variância foi feita utilizando valores de atividade de hidrogênio ($H^+ = 10^{-pH}$). Às médias obtidas aplicou-se então a escala de pH. Tal procedimento se justifica porque a escala de pH é logarítmica (Santos & Gheyi, 2003).

Estado nutricional da plantas

Foram coletados tecidos foliares da mamoneira ao final do experimento, obtendo-se para cada parcela, três folhas completamente maduras, próximas ao ápice da planta. Todo material coletado foi devidamente identificado e acondicionado em sacos de papel e levado a estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, durante 72 h. Em etapa posterior, o material foi triturado em moinho tipo Wiley com peneira com diâmetro de malha de 1 mm.

A obtenção dos extratos dos tecidos vegetais, necessários para as determinações químicas, foi feita conforme metodologia descrita em Bezerra Neto & Barreto (2004). As determinações de Na e K, foram realizadas por fotometria de chama. Para determinação do Ca e Mg, foram obtidas por espectrofotometria de absorção atômica. A concentração de P nos tecidos vegetais foi obtida por colorimetria (método do molibdo-vanadato). A concentração de N nos tecidos vegetais foi determinada por meio de digestão sulfúrica com posterior destilação em aparelho Kjeldahl e titulação com ácido sulfúrico (Bezerra Neto & Barreto, 2004).

Análises estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos a análise de variância e de médias, utilizando o software SAEG 9.0 (UFV, Viçosa, Brasil). Aos resultados significativos pelo teste F, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias. Quando houve interação significativa (TA x L) os graus de liberdade foram decompostos (Gomes, 1982; Ferreira, 2000; Santos & Gheyi, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade do efluente e da água de irrigação

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios das características físico-químicas da água de abastecimento e do esgoto doméstico tratado por digestão anaeróbia (A1, A2 e A3) utilizados no experimento.

Segundo Ayers & Westcot (1999), as águas cuja condutividade elétrica varia entre 0,70 e 3,00 dS m⁻¹ são classificadas de risco moderado quanto à salinização. Observa-se, portanto que, em se tratando de qualidade de água para irrigação quanto à salinidade, efluentes utilizados para irrigação de mamona apresentam restrição moderada. Sendo que o efluente A1 foi o que apresentou maior valor de condutividade elétrica (2,14 dS m⁻¹).

Pelos resultados dispostos na Tabela 1, observa-se que o pH médio foi básico as três configurações de tratamento de esgoto utilizadas neste experimento. Na água de abastecimento (A4) observou-se um valor médio de pH ácido (6,53), como geralmente se apresenta o pH das águas de abastecimento público. Observa-se que os valores de pH 6,87; 6,88 e 6,95 obtidos para os efluentes A1, A2 e A3 mostraram-se fora da faixa normalmente verificada para efluentes que é de 7,8 a 8,1 segundo Feigin et al. (1991). Com relação ao efeito do pH nas águas a serem utilizadas para irrigação, Ayers & Westcot (1999) recomendam que o valor do pH varie de 6,5 a 8,4. Os valores de pH obtidos para as águas utilizadas nesta pesquisa sugerem que não haverá efeito prejudicial no solo ou na cultura.

Quanto ao risco de redução da infiltração de água no solo, de acordo com Ayers & Westcot (1999), verifica-se que a água de abastecimento utilizada possui um grau de restrição moderado (RAS = 0,75 meq L⁻¹ e CE = 0,218 dS m⁻¹). Por outro lado, os efluentes A1 (RAS = 1,80 meq L⁻¹ e CE = 2,14 dS m⁻¹), A2 (RAS = 2,19 meq L⁻¹ e CE = 1,99 dS m⁻¹) e A3 (RAS = 2,13 meq L⁻¹ e CE = 1,88 dS m⁻¹), não possuem nenhuma restrição quanto a redução da capacidade de infiltração de água no solo. Na análise do

risco de diminuição da infiltração quando se usa efluentes, não se deve considerar somente a CE e RAS, mas também a concentração de sólidos suspensos. A irrigação com líquidos com alta concentração de sódios pode provocar o entupimento dos poros e formação de crosta na superfície do solo, dificultando a infiltração. Oliveira et al. (2000) verificaram que a concentração de sólidos totais na água residuária de suinocultura, foi mais importante na redução da infiltração de água no solo do que a RAS e CE. No presente trabalho, o efluente A3 é o que possui maior concentração de sólidos suspensos ($65,0 \text{ mg L}^{-1}$), por este motivo o seu uso representa maior risco quanto à diminuição da capacidade de infiltração do solo.

Tabela 1. Valores médios dos fatores físico-químicos determinados para as águas utilizadas na irrigação. Ibimirim, PE, 2010.

Fatores	A1 ¹	A2 ²	A3 ³	A4 ⁴
pH	6,87	6,88	6,95	6,53
CE ⁵ (dS m ⁻¹)	2,14	1,99	1,88	0,218
Cálcio (mg L ⁻¹)	155,6	109,5	150,7	32,1
Magnésio (mg L ⁻¹)	44,7	62,9	33,8	20,6
Sódio (mg L ⁻¹)	99,1	116,6	111,7	22,5
RAS ⁶ (meq L ⁻¹) ^{1/2}	1,80	2,19	2,13	0,75
Nitrogênio-total (mg L ⁻¹)	106,9	74,32	84,3	0,0
Fósforo-total (mg L ⁻¹)	10,3	8,7	9,4	0,31
Potássio (mg L ⁻¹)	43,6	42,4	53,6	13,3
Cloretos (mg L ⁻¹)	171,1	159,0	186,2	38,3
Sulfatos (mg L ⁻¹)	19,8	89,6	67,7	5,19
Dureza total-CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	221,6	196,2	222,8	81,3
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	36,1	47,3	65,0	22,4

¹efluente do UASB e lagoa de polimento; ²efluente do Decanto-Digestor associado ao Filtro anaeróbio e lagoa de estabilização; ³Efluente de Filtro anaeróbio e lagoa de estabilização; ⁴Água abastecimento; ⁵Condutividade elétrica; ⁶Razão de Adsorção de Sódio.

As concentrações médias dos nutrientes N e K nos efluentes A1 (106,9 e 43,6 mg L⁻¹), A2 (73,32 e 42,4 mg L⁻¹) e A3 (84,3 e 53,6 mg L⁻¹) estiveram acima da variação esperada para efluentes de esgoto (N: 10 – 50 mg L⁻¹; K: 10 – 40 mg L⁻¹). O que não ocorreu para o P, que se manteve dentro da variação esperada, para as três configurações de tratamento de esgoto (6 – 17 mg L⁻¹), segundo Feijin et al. (1991).

Volume de água aplicado e aporte de nutrientes

A quantidade de água aplicada via irrigação e a precipitação acumulada em cada mês durante o cultivo encontram-se na Figura 6A. É importante relatar que as chuvas acumuladas quase sempre ocorriam de forma torrencial e concentradas em apenas alguns dias de cada mês, conforme pode ser observado na Figura 6B.

Em função das concentrações de nutrientes encontradas nos tipos de água e das lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ciclo da cultura, estimou-se o aporte de nutrientes, conforme apresentado na Tabela 2.

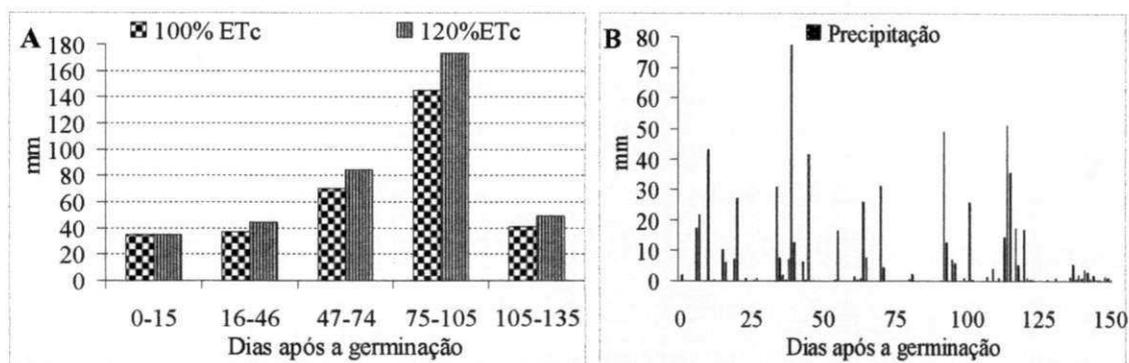


Figura 1. Lâmina de irrigação aplicada (A) e precipitação ao longo do experimento (B). Ibirimir, PE, 2010.

Tabela 2. Aporte de nutriente ao solo via água de irrigação durante o ciclo da mamona, considerando L1=292,4 mm e L2=350,8 mm. Ibirimir-PE, 2010.

	A1		A2		A3		A4	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
	kg ha ⁻¹							
N	312,58	375,09	217,31	260,77	217,31	260,77	0,00	0,00
P	30,12	36,14	25,44	30,53	25,44	30,53	0,61	0,74
K	127,49	152,98	123,98	148,77	123,98	148,77	39,18	47,02
Na	289,77	347,72	340,94	409,13	340,94	409,13	64,91	77,90
Ca	454,97	545,97	320,18	384,21	320,18	384,21	93,86	112,63
Mg	130,70	156,84	183,92	220,70	183,92	220,70	60,23	72,28

A1 - Efluente reator UASB e lagoa de polimento; A2 - Efluente Decanto-digestor associado ao Filtro anaeróbio e lagoa de estabilização; A3 - Efluente do Filtro anaeróbio e lagoa de estabilização e A4 - Água abastecimento;

A adubação recomendada oficialmente para mamoneira no Estado de Pernambuco é de 35, 50 e 40 kg ha⁻¹, respectivamente, para N, P e K ocorrendo variações de acordo com a análise de solo (Cavalcanti, 2008). De acordo com a Tabela 2, o aporte de N e K para maior lâmina de irrigação no presente trabalho foi de 375,09 e 152,98 kg ha⁻¹ (A1), 260,77 e 148,77 kg ha⁻¹ (A2 e A3), respectivamente. Valores muito superiores a

adubação recomendada oficialmente para mamoneira no Estado de Pernambuco, portanto, o excedente deverá gerar uma economia na adubação de futuros cultivos na área.

Fertilidade do solo ao final do experimento

Antes do experimento o solo foi caracterizado podendo ser considerado de fertilidade média ($V\%=76,4$) baixa capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e não possui limitação quanto a toxicidade por alumínio.

Na Tabela 3, pode-se observar os resumos estatísticos referentes a alguns atributos relacionados a fertilidade do solo ao final do experimento. Foram observados efeitos significativos dos tipos de água (TA), a 1% de probabilidade, sobre os atributos P, K e Na, não havendo efeito sobre o pH, Mg e a matéria orgânica (MO) do solo. Não foi detectado efeito significativo do fator lâmina de irrigação (L) em nenhum dos atributos do solo.

A análise da concentração de P foi efetuada com base nos dados transformados em $\log(x)$, visto que se verificou não haver normalidade dos erros e homogeneidade de variância para os dados originais. Pelo mesmo motivo, os dados referentes à concentração de hidrogênio ($H^+ = 10^{-pH}$), foram submetidos a transformação por $\ln(1/x)$. Já os atributos MO, Ca e Mg, foram transformados por $(x+1)^{1/2}$.

Matéria orgânica no solo

Observando a Tabela 3 verifica-se que os tipos de água (TA), bem como, as lâminas de irrigação (L) aplicadas, não afetaram significativamente a concentração de matéria orgânica (MO) do solo. Tal resultado difere dos encontrados por Silva (2007) que observou um incremento da matéria orgânica do solo para as parcelas irrigadas com água residuária tratada em detrimento daquelas irrigadas com água de abastecimento. O autor atribui o aumento da matéria orgânica à baixa eficiência do pós-tratamento do efluente que continha altas concentrações de sólidos suspensos, o que não é o caso do presente trabalho. Em geral, o nível de matéria orgânica do solo decresceu em relação a concentração inicial, em virtude do uso de diferentes tipos de água e lâminas de irrigação. O valor médio da concentração de matéria orgânica do solo ao final do experimento foi de 4,7 e 4,29 g kg⁻¹, respectivamente, para o solo irrigado com água residuária tratada e água de abastecimento. No início do experimento o teor de matéria

orgânica no solo era de $5,3 \text{ g kg}^{-1}$. Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento et al. (2009) em cultivo de mamona em solo franco-arenoso.

Fósforo no solo

As concentrações médias de P contidas nas águas de irrigação foram de 0,31, 10,3, 8,7 e $9,4 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente para Água de abastecimento (A4), efluentes A1, A2 e A3. Ao final do experimento, observou-se que a concentração média de P, para as parcelas irrigadas com efluentes, foi de $69,18 \text{ mg kg}^{-1}$ (A1), $79,43 \text{ mg kg}^{-1}$ (A2), $63,09 \text{ mg kg}^{-1}$ (A3) não diferindo estatisticamente entre si. Já para água de abastecimento o teor de P foi de $32,35 \text{ mg kg}^{-1}$. A lâmina de reposição de água, bem como a interação entre os fatores, não afetou significativamente a concentração de P no solo (Tabela 3). O teor de fósforo solo diminuiu em relação ao valor inicial (160 mg kg^{-1}), porém nas parcelas irrigadas com efluentes a diminuição foi menor. Com o exposto, apesar dos efluentes possuírem alta concentração de P (média de $9,46 \text{ mg L}^{-1}$) as quantidades adicionadas não foram suficientes para elevar sua concentração no solo, devido a exigência da mamona. No entanto, as concentrações residuais de P no solo serão benéficas para o cultivo de ciclos posteriores. De acordo com a comissão estadual de fertilidade do solo para o estado de Pernambuco (Cavalcanti, 2008) se na análise de solo for observado uma concentração de P superior a 20 mg kg^{-1} deve ser aplicado 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 que a recomendação mínima para este nutriente.

Considerando a concentração de P observada no final do experimento é provável que este nutriente não tenha sido fator limitante da produção. Segundo Ferreira et al. (2004), na mamoneira a deficiência de fósforo causa redução no crescimento inicial devido a redução de absorção de outros nutrientes, redução na taxa de fotossíntese e redução da translocação interna de nutrientes. Lucena et al. (2006) comparando o uso de esgoto tratado e água de abastecimento em um Neossolo Quartzarênico, concluíram que o efluente de esgoto tratado melhorou as propriedades químicas do solo. Os autores observaram um aumento nos teores de P e matéria orgânica no solo. Segundo Rajj (1991) o fósforo fornecido de maneira adequada às plantas, promove um bom desenvolvimento radicular, boa formação dos frutos e a precocidade da produção.

Potássio no solo

À semelhança do P, houve efeito significativo dos tipos de água (TA) sobre a concentração de K no solo, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 3), não sendo verificado efeito da interação entre os fatores (TA x L) e nem da do fator isolado lâmina de irrigação (L).

De acordo com a Tabela 1, a concentração média de K na água de irrigação foi de 13,3 mg L⁻¹ (A4); 43,6 mg L⁻¹ (A1); 42,4 mg L⁻¹ (A2); 53,6 mg L⁻¹ (A3). Observou-se um acréscimo no teor de K no solo em relação ao A concentração média de K no solo ao final do experimento para o solo irrigados com efluentes foi de 0,21 cmolc dm⁻³ (A1), 0,21 cmolc dm⁻³ (A2), 0,25 cmolc dm⁻³ (A3) não diferindo estatisticamente entre si, e de 0,17 cmolc dm⁻³ para água de abastecimento.

No início do experimento a concentração de K no solo era de 0,26 cmolc dm⁻³. Observa-se que para todos os tipos de água houve uma diminuição da concentração de K no solo, sendo esta diminuição mais acentuada nas parcelas que foram irrigadas com água de abastecimento. Estes resultados diferem dos encontrados por Rodrigues et al. (2009) trabalhando com níveis de reposição de água residuária na mamoneira, constataram um aumento na concentração de K no solo ao final do experimento. Medeiros et al. (2005) em pesquisa com irrigação de café, observaram que a aplicação de água residuária, contendo em média 32,30 mg L⁻¹ de K (concentração inferior a encontrada na presente pesquisa) só foi capaz de suprir 58% da demanda deste nutriente. Feijin et al. (1991) relataram que a irrigação com efluente não satisfaz as necessidades das culturas em K, porém pode promover o aumento dos teores no solo, fato que não ocorreu neste trabalho.

Cálcio e magnésio no solo

De acordo com a Tabela 3, a concentração de Ca no solo não foi afetada significativamente pelos tipos de água (TA) independente da lâmina de irrigação aplicada. Observou-se uma maior concentração de Ca no solo irrigado com o efluente A2 (2,13 cmolc kg⁻¹), valor muito próximo ao observado no solo antes do experimento (2,05 cmolc kg⁻¹).

Em relação à concentração de Mg (Tabela 3), não foram observados efeitos significativos dos tipos de água (TA) e lâminas de irrigação (L) sobre a concentração de

Mg no solo. Ao final do experimento a concentração média de Mg no solo foi de 1,79 cmolc kg⁻¹, superior à detectada no início do experimento que foi de 0,35 cmolc dm⁻³.

Rodrigues et al. (2009) constataram uma melhoria na fertilidade do solo, atribuindo este efeito à utilização de água residuária, que continha teores médios de Ca e Mg, respectivamente da ordem de 56,10 e 39,04 mg L⁻¹. No presente trabalho, as concentrações de Ca e Mg nas águas de irrigação foram, respectivamente de 32,1 e 20,6 mg L⁻¹ (A4), 155,6 e 44,7 mg L⁻¹ (A1), 109,5 e 62,9 mg L⁻¹ (A2), 150,7 e 33,8 mg L⁻¹ (A3), conforme apresentado na Tabela 1.

As concentrações de Ca e Mg obtidas na presente pesquisa são inferiores às concentrações obtidas por Lucena et al. (2006) que em pesquisa sobre as alterações químicas devido à aplicação de efluentes em um Neossolo Quartzarênico observaram ao final do experimento concentrações de 13,75 e 7,7 cmolc kg⁻¹, respectivamente para Ca e Mg. Silva (2007) constatou diferenças significativas no incremento dos teores de Mg no solo, o autor atribui esta resposta ao manejo da irrigação com efluente de lagoa de polimento, evidenciando que o efluente pode ser uma alternativa de aporte deste nutriente ao sistema agrícola. Ainda segundo o mesmo autor, o aumento ou o decréscimo de dos teores de Ca e Mg no solo, em resposta à aplicação de efluentes está diretamente relacionada à concentração de tais nutrientes na água de irrigação, ao percentual absorvido pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo.

Sódio no solo

A concentração de Na no solo, foi afetada significativamente pelos tipos de água (TA) utilizados nesta pesquisa. Conforme apresentado na Tabela 4, é possível constatar que a concentração de Na nas parcelas irrigadas com água residuária tratada, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O teor de sódio nas unidades experimentais que receberam com água de abastecimento, é significativamente menor.

A concentração de sódio na água de irrigação foi de 99,1, 116,6, 111,7 e 22,5 g L⁻¹, respectivamente, para o efluente A1, A2, A3 e água de abastecimento.

Apesar do considerável teor de Na presente nas águas de irrigação, ao final do experimento, a concentração média de Na no solo foi de 0,28 e 0,12 cmolc kg⁻¹, respectivamente, para as parcelas irrigadas com os efluentes (A1, A2 e A3) e água de abastecimento (A4).

Rodrigues et al. (2009) observaram ao final de seu estudo aplicação de água residuária no cultivo de duas variedades de mamoneira, um nível médio de concentração de Na no solo de 2,13 cmolc kg⁻¹, valor bem superior aos valores observados na presente pesquisa. Em trabalho similar, Nascimento et al. (2009) verificaram que o teor de Na no solo tratado com água residuária foi de 3,76 cmolc kg⁻¹. Tais concentrações de Na, podem constituir um fator limitante ao uso de águas residuárias.

Tabela 3. Resumo das análises de variância e médias para fertilidade do solo (camada 0-20 cm) ao final do experimento (pH, P, K, Ca, Mg e MO). Ibibimirim-PE, 2010.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		[H ⁺ = 10 ^{pH}] ^a	MO ^δ	P ^φ	
Tipo de água (TA)	3	3,6532 ^{NS}	0,2636 ^{NS}	0,2380 ^{**}	
Lâmina de irrigação (L)	1	3,5909 ^{NS}	0,0031 ^{NS}	0,01289 ^{NS}	
Bloco	3	7,4382 ^{**}	2,2662 ^{**}	0,20298 [*]	
Interação (TA x L)	3	0,2899 ^{NS}	0,2959 ^{NS}	0,0723 ^{NS}	
Resíduo	21	0,12733	0,2389	0,04161	
CV (%)		6,90	20,40	12,10	
		Média			
Tipo de água (TA)		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
A1 - UASB + LP		15,97 (6,93)	2,37 (4,61)	1,84 (69,18) a	
A2 - DG + FA + LE		15,84 (6,87)	2,62 (5,86)	1,90 (79,43) a	
A3 - FA + LE		16,26 (7,06)	2,17 (3,70)	1,80 (63,09) ab	
A4 - AA		17,33 (7,52)	2,30 (4,29)	1,51 (32,35) b	
Lâminas irrigação (L)		Média			
L1 = 100% ETc		16,01 (6,95)	2,37 (4,61)	1,78 (60,25)	
L2 = 120% ETc		16,68 (7,24)	2,39 (4,71)	1,74 (54,95)	
Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		K	Ca ^δ	Mg ^δ	Na ^η
Tipo de água (TA)	3	0,0078 ^{**}	0,0545 ^{NS}	0,00506 ^{NS}	0,0681 ^{**}
Lâmina irrigação (L)	1	0,00070 ^{NS}	0,00216 ^{NS}	0,0123 ^{NS}	0,00217 ^{NS}
Bloco	3	0,0173 ^{**}	0,3763 ^{**}	0,2214 ^{**}	0,27968 ^{**}
Interação (TA x L)	3	0,00134 ^{NS}	0,0912 ^{NS}	0,0185 ^{NS}	0,00736 ^{NS}
Resíduo	21	0,00139	0,0292	0,0342	0,01349
CV (%)		17,40	10,10	11,00	23,50
		Média			
Tipo de água (TA)		cmolc kg ⁻¹			
A1 - UASB + LP		0,21 ab	1,68 (1,82)	1,65 (1,72)	0,52 (0,27) a
A2 - DG + FA + LE		0,21 ab	1,77 (2,13)	1,70 (1,89)	0,50 (0,25) ab
A3 - FA + LE		0,25 a	1,71 (1,92)	1,65 (1,72)	0,57 (0,32) a
A4 - AA		0,17 b	1,57 (1,46)	1,65 (1,72)	0,36 (0,12) b
Lâminas irrigação (L)		Média			
L1 = 100% ETc		0,21	1,67 (1,79)	1,68 (1,82)	0,50 (0,25)
L2 = 120% ETc		0,20	1,69 (1,86)	1,65 (1,72)	0,48 (0,23)

^{NS}não significativo (P > 0,05); ^{*}significativo (P < 0,05); ^{**}significativo (P < 0,01) pelo teste F. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre as médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

^aDados transformados ln(1/x); ^δTransformação em (x+1)^{1/2}; ^φTransformação em log(x); ^ηTransformação em x^{1/2}.

Lucena et al. (2006) aplicando efluente em um Neossolo Quartzarênico, observaram ao final do experimento uma concentração de Na de 10,12 cmolc kg⁻¹, segundo os autores tal concentração foi devido elevado teor deste nutriente no efluente e também ao fato de a umidade do solo ter sido mantida a 80% da capacidade de campo. Nesta situação, práticas especiais de manejo, como por exemplo, aplicação de lâminas de lixiviação, utilização de água de melhor qualidade em alguns períodos e a suspensão da irrigação no período de chuvas, podem contribuir para lixiviar o excesso do nutriente para fora da zona radicular da cultura.

Potencial hidrogeniônico no solo (pH)

O pH, que representa a atividade dos íons de H⁺ na solução do solo, não evidenciou-se alteração em relação aos fatores estudados (Tabela 3). Entretanto, considerando que o pH inicial do solo era 6,60 é possível observar que houve um pequeno aumento quando se aplicou os efluentes A1, A2 e A3 (pH médio = 6,94) e água de abastecimento (pH = 7,52). Apesar da diferença entre os valores de pH do solo não ter sido elevada, tem sido reportado na literatura aumentos significativos, devido ao uso da irrigação com água ou efluente sobre os valores de pH do solo após vários anos de irrigação (Erthal et al., 2010; Lucena et al., 2009; Silva, 2007; Santos, 2004).

Diagnose do estado nutricional da mamona pela análise foliar

Na Tabela 4, são detalhados os resumos das análises de variância para concentração de N, P, K, Ca, Mg e Na nos tecidos foliares da mamoneira.

Considerando apenas as plantas irrigadas com efluentes (A1, A2 e A3), a ordem de concentração dos nutrientes nas folhas foi N > K > Ca > Na > P > Mg, respectivamente com médias de 39,08 > 25,95 > 24,62 > 3,91 > 2,25 > 2,70 g kg⁻¹. Considerando o uso de água de abastecimento (A4), a ordem foi a seguinte: N > Ca > K > Mg > P > Na, com respectivas médias de 33,04, 25,41, 21,71, 3,31, 3,14, 2,53 g kg⁻¹.

Nitrogênio e potássio nos tecidos foliares

Nesta pesquisa foi constatado efeito significativo dos tipos de água (TA) sobre os teores de N, K nos tecidos foliares da mamoneira (Tabela 4). Para tais nutrientes não foram constatados efeitos significativos para lâmina de irrigação (L), nem para interação dos fatores (TA x L). Pelo teste de média aplicado, observa-se que o teor de N, K não

diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (5% de probabilidade), quando se utiliza qualquer um dos efluentes (A1, A2 e A3) indicando que os nutrientes de tais efluentes, apesar de apresentarem concentrações diferenciadas (Tabela 1), quando dispostos no solo, são absorvidos de maneira de semelhante pela planta.

Considerando somente o uso de efluentes, a concentração média de N nos tecidos foliares foi de 39,0 g kg⁻¹. De acordo com Malavolta (2006) os níveis adequados deste nutriente nas folhas da mamoneira são de 40 a 50 g kg⁻¹, na época do florescimento. Portanto, deduz-se que não houve limitação na absorção deste nutriente pelas plantas, visto que no presente trabalho a avaliação nutricional foi feita no final do ciclo.

Na presente pesquisa, o teor médio de K na folha da mamoneira ao final do experimento foi de 25,95 g kg⁻¹, para plantas que irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3. Malavolta (2006) informa que o teor adequado deste nutriente na folha da mamona deve estar entre 30 e 40 g kg⁻¹, na época de floração. Observa-se, portanto, que no presente trabalho a concentração de K para mamoneira aproxima-se bastante do valor mínimo adequado, assim, é provável que não tenha havido deficiência deste nutriente na época de floração. É importante ressaltar, que como não foi efetuado nenhum tipo de adubação nem antes, nem durante o experimento, e que a concentração inicial de Potássio no solo era de 0,26 g kg⁻¹, o aporte de nutrientes foi devido, em grande parte, a água de irrigação utilizada, neste caso, o uso dos efluentes A1, A2 e A3.

Rodrigues (2008) testando diferentes níveis de reposição de água residuária, observou que nos tecidos foliares da mamona que o teor de N e K, foi, respectivamente, de 13,26 e 20,85 g kg⁻¹, valores inferiores aos observados na presente pesquisa.

Barros Junior (2007) em pesquisa com níveis de reposição de água, em ambiente protegido, verificou que as plantas da mamoneira adequadamente adubadas apresentaram concentrações de N nas folhas da ordem de 33,68 g kg⁻¹, valor inferior ao detectado no presente trabalho. Já para o K, a concentração média observada foi de 29,24 g kg⁻¹, valor superior ao encontrado na presente pesquisa.

Lavres Júnior et al. (2005) em trabalho com o cultivar Iris constataram que no tratamento com adubação completa a concentração de N no limbo superior foi de 48,10 g kg⁻¹, significativamente maior que no limbo inferior 26,90 g kg⁻¹, segundo os autores, um indício da alta mobilidade deste nutriente na planta.

Sódio nos tecidos foliares

Conforme a Tabela 1, o sódio foi um dos elementos mais aportados via água de irrigação com concentrações de 22,5 mg L⁻¹ (A4), 99,1 mg L⁻¹ (A1), 116,6 mg L⁻¹ (A2) e 111,7 mg L⁻¹ (A3). Apesar disso, as concentrações deste nutriente nas plantas foram relativamente baixas. Considerando as plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3, a concentração média deste nutriente nos tecidos foliares da mamona foi de 3,91 g kg⁻¹. Já para as plantas que receberam água de abastecimento (A4) a concentração observada foi de 3,14 g de Na por kg de matéria seca. Isso não vem a dirimir o problema ao longo do tempo, pois ciclos sucessivos podem sodificar o solo e prejudicar as culturas.

O efluente de esgoto doméstico utilizado por Rodrigues (2008) possuía elevada concentração de Na (141,8 mg L⁻¹, superior aos valores registrados no presente trabalho), no entanto, as concentrações de Na encontrado nas folhas da mamona foram da ordem de 2,25 mg kg⁻¹ (valor inferior ao encontrado no presente estudo). Segundo o autor, provavelmente a mamoneira tem capacidade seletiva, excluindo o íon Na⁺. Furlani (2004) descreveu que o Na, juntamente com os elementos Si, Se e Co são classificados como benéficos às plantas.

Fósforo nos tecidos foliares

Com relação ao teor de P nos tecidos foliares da mamona, observa-se de acordo com os dados da Tabela 4, não houve diferença estatística, para os tipos de água utilizados, nas duas lâminas de irrigação aplicadas. Para as plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3, a concentração média de P observada foi de 3,24 g kg⁻¹. Já nas plantas irrigadas com água de abastecimento (A4) a concentração observada foi de 3,14 g kg⁻¹. Segundo Malavolta (2006), os teores adequados de P nas folhas da mamoneira, na época do florescimento, variam de 3,0 a 4,0 g kg⁻¹, portanto, os valores detectados na presente pesquisa, indicam que não houve deficiência nutricional de P na mamoneira. Lavres Júnior et al. (2005), em pesquisa com mamona Iris observaram que para o tratamento com adubação completa o teor de P observado na folha da mamona foi de 4,7 g kg⁻¹. Já Rodrigues (2008) utilizando efluente de esgoto doméstico informou que o teor de P na folha da mamoneira foi de 2,22 g kg⁻¹ em média, valor inferior ao detectado no presente trabalho.

Cálcio e magnésio nos tecidos foliares

O teor de Ca nos tecidos foliares da mamoneira foi afetado pelo fator lâmina de irrigação (L). Não foram detectados efeitos significativos para o fator tipo de água (TA) nem para interação (TA x L), conforme apresentado na Tabela 4. De acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, as plantas que receberam 100% de ETc possuem uma maior concentração de Ca (27,30 g kg⁻¹), do que aquelas irrigadas com 120 % da ETc (22,34 g kg⁻¹). É provável que tenha havido uma lixiviação deste nutriente devido a aplicação a aplicação de uma lâmina de irrigação superior à evapotranspiração máxima da cultura.

Tabela 4. Resumo das análises de variância e de médias para N, P, K, Ca, Mg e Na nos tecidos foliares, ao final do experimento. Ibimirim-PE, 2010.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		N	P	K
Tipo de água (TA)	3	74,85**	0,45 ^{NS}	37,96**
Lâmina de irrigação (L)	1	9,39 ^{NS}	0,34 ^{NS}	14,05 ^{NS}
Bloco	3	6,71 ^{NS}	0,18 ^{NS}	54,29**
Interação (TA x L)	3	7,14 ^{NS}	0,62 ^{NS}	2,05 ^{NS}
Resíduo	21	6,32	0,17	7,71
CV (%)		6,60	12,84	11,10
Tipo de água (TA)		Média (g kg ⁻¹)		
A1 - UASB + LP		38,86 a	2,92	25,51 ab
A2 - DG + FA + LE		38,63 a	3,44	25,68 a
A3 - FA + LE		39,75 a	3,38	26,66 a
A4 - AA		33,04 b	3,14	21,71 b
Lâminas de irrigação (L)		Média (g kg ⁻¹)		
L1 = 100% ETc		37,03	3,12	24,23
L2 = 120% ETc		38,11	3,32	25,56
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		Ca	Mg	Na
Tipo de água (TA)	3	25,64 ^{NS}	0,34 ^{NS}	4,65**
Lâmina de irrigação (L)	1	196,78*	0,27 ^{NS}	0,024 ^{NS}
Bloco	3	134,89**	0,52 ^{NS}	0,40 ^{NS}
Interação (TA x L)	3	66,29 ^{NS}	0,093 ^{NS}	1,04 ^{NS}
Resíduo	21	27,57	0,23	0,43
CV (%)		21,10	17,60	18,3
Tipo de água (TA)		Média (g kg ⁻¹)		
A1 - UASB + LP		23,32	2,87	3,60 a
A2 - DG + FA + LE		27,10	2,24	3,76 a
A3 - FA + LE		23,43	2,98	4,36 a
A4 - AA		25,41	3,31	2,53 b
Lâminas de irrigação (L)		Média (g kg ⁻¹)		
L1 = 100% ETc		27,30 a	3,19	3,59
L2 = 120% ETc		22,34 b	3,01	3,54

^{NS} não significativo (P > 0,05); * significativo (P < 0,05); ** significativo (P < 0,01) pelo teste F. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças entre as médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com Malavolta (2006), o teor adequado de Ca na folha da mamona, na época do florescimento, deve estar entre 15 e 25 g kg⁻¹. Assim, é possível afirmar que a mamoneira não apresentou deficiência de Ca. O teor médio de Ca encontrado por Rodrigues (2008) para o tecido foliar da mamona foi de 9,22 g kg⁻¹, valor bem inferior ao encontrado no presente estudo.

Pela Tabela 4, observa-se que a concentração média de Mg nos tecidos foliares da mamona foi de 3,10 g kg⁻¹, não sendo observados efeitos significativos para os fatores isolados (TA e L) nem para interação destes (TA x L). De acordo com Malavolta (2006), o teor de Mg adequado na folha da mamoneira deve variar de 2,5 a 3,5 g kg⁻¹, na época de floração da cultura. Portanto, de acordo com o teor deste nutriente encontrado nas folhas da mamoneira no presente estudo, o Mg não foi limitante para o crescimento e desenvolvimento da cultura. A concentração de Mg nos tecidos foliares observada por Rodrigues (2008), em trabalho com mamona irrigada com água residuária de esgoto doméstico, encontrou teor de 5,84 g kg⁻¹ nas folhas da mamoneira, valor bem superior ao encontrado no presente estudo.

CONCLUSÕES

1. As concentrações dos nutrientes P ($70,56 \text{ g kg}^{-1}$), K ($0,22 \text{ g kg}^{-1}$) e Na ($0,28 \text{ g kg}^{-1}$) no solo, foram iguais quando se utilizou os efluentes A1, A2 e A3, independente da lâmina de água aplicada.
2. Com relação ao pH (7,1) e às concentrações de matéria orgânica (MO = $4,66 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($1,79 \text{ g kg}^{-1}$) no solo ao final do experimento, não foram observados efeitos significativos em relação aos fatores estudados.
3. As concentrações de N ($39,08 \text{ g kg}^{-1}$), K ($25,95 \text{ g kg}^{-1}$), e Na ($3,91 \text{ g kg}^{-1}$) nos tecidos foliares da mamoneira, foram iguais nas plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3.
4. Não foram observadas deficiências importantes de em relação aos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, para mamoneira irrigada com efluentes.
5. As concentrações de MO, P, K, Ca, Mg e Na, foram maiores nas unidades experimentais irrigadas com efluentes (A1, A2 e A3) em relação às que receberam água de abastecimento (A4).
6. Os nutrientes N, P, K, Mg e Na, foram mais relevantes nas plantas irrigadas com efluentes (A1, A2 e A3) do que nas que receberam água de abastecimento (A4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. Irrigation and Drainage. Paper 56. 297p.

Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F.; Damasceno, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

Barros Junior, G. Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona. Campina Grande: UFCG, 2007. 153p. Tese de Doutorado

Bezerra Neto, E.; Barreto, L.P. Métodos de análises químicas em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2004. 165p.

Cavalcanti, F.J.A. (Ed.). Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2ª aproximação). 3.ed. Recife: Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco, 2008. 212p.

Cavallet, L.E.; Lucchesi, L.A.C.; Moraes, A. de; Schimidt, E.; Perondi, M.A.; Fonseca, R. A. da. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.3, p.724-729, 2006.

Chiaradia, J.J.; Chiba, M.K.; Andrade, C.A.; Oliveira, C.; Lavorenti, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canal tratado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, n.3, p.701-709, 2009.

Deon, M.D.; Gomes, T.M.; Melfi, A.J.; Montes, C.R.; Silva, E. Produtividade e qualidade da cana-de-acucar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.

Erthal, V.J.T.; Ferreira, P.A.; Matos, A.T.; Pereira, O.G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

Ferreira, G.B.; Santos, A.C.M. Xavier, R.M.; Ferreira, M.M.M.; Severino, L.S.; Beltrão, N.E. De M. Deficiência de fósforo e potássio na mamoneira (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 8p. CD Rom.

Ferreira, P.V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.

Furlani, A.M.C. Nutrição mineral. In: Kerbauy, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004, p.40-75.

Gomes, F.P. Curso de estatística experimental. 3.ed. Piracicaba: São Paulo: Nobel, 1982. 436p.

LAMEPE - Laboratório de Meteorologia de Pernambuco.
<http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. 01 Nov. 2010.

Lavres Júnior, A.; Boaretto, R.M.; Silva, M.L.S.; Correia, D.; Cabral, C.P.; Malavolta, E. Deficiência de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, n.1, p.61-67, 2005.

Lucena, A.M.A.; Guerra, H.O.C.; Chaves, L.H.G.; Costa, F.X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um Neossolo quartzarênico. Revista Caatinga, v.19, n.4, p.409-414, 2006.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638p.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

Medeiros, S.S.; Soares, A.A.; Ferreira, P.A.; Neves, J.C.L.; Matos, A.T.; Souza, J.A.A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.603-612, 2005.

Nascimento, M.B.H.; Lima, V.L.A.; Azevedo, C.A.V.; Souza, A.P. Propriedades químicas do solo cultivado com mamona, irrigado com água residuária tratada e adubado com biossólido. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa, v.4, n.1, p.8-15, 2009.

Oliveira, R.A.; Campelo, P.L.G.; Matos, A.T.; Martinez, M.A.; Cecon, P.R. influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.2, p.263-267, 2000.

- Raij, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Potafos. 1991. 343p.
- Deon, M.D.; Gomes, T.M.; Melfi, A.J.; Montes, C.R.; Silva, E. Produtividade e qualidade da cana-de-acucar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010.
- Rodrigues, L.N.; Nery, A.R.; Fernandes, P.D.; Beltrão, N.E.M. Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.9, n.2, p.55-67, 2009.
- Rodrigues, L.N. Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária. Campina Grande: UFCG, 2008. 161p. Tese Doutorado
- Samaras, V.; Tsadilas, C.D.; Tsialtas, J.T. Use of treated wastewater as fertilization and irrigation amendment in pot-grown processing tomatoes. Journal of Plant Nutrition, v.32, n.5, p.741-754, 2009.
- Santos, J.W.; Gheyi, H.R. Estatística experimental aplicada: tópicos de engenharia agrícola e agrônômica. Campina Grande: Gráfica Marcone Ltda., 2003. 213p.
- Silva, V. de P. Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção do feijão cupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Recife: UFPE, 2007. 128p. Tese Doutorado
- Smith, C.J.; Hopmans, P.; Cook, F.J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. Environmental Pollution, v.94, p.317-323, 1996.
- Sousa, J.T.; Haandel, A.C.V.; Cavalcanti, P.F.F.; Figueiredo, A.M.F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura no semi-árido nordestino. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.10, n.3, p.260-265, 2005.
- Vogeler, I. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. Water Air Soil Pollut, v.196, n.1-4, p.385-392, 2009.
- Xu, J.; Wu, L.; Chang, A.C.; Zhang, Y. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. Journal of Hazardous Materials, v.183, n.1-3, p.780-786, 2010.

CONCLUSÃO GERAL

De acordo com os resultados obtidos, é possível afirmar que, para as condições deste experimento, a produtividade de sementes foi significativamente igual, independente da configuração de tratamento de água residuária. Tal constatação é interessante, pois a instalação, operação e manutenção de um filtro anaeróbio ou mesmo um decantodigestor (tanque-séptico) é bem mais simples que a instalação e partida de um reator UASB.

Ainda em relação à produtividade de sementes, é importante destacar que as plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3 forneceram valores superiores em relação às plantas que receberam água de abastecimento (A4). O que permite inferir o potencial do uso dos efluentes na fertirrigação da mamoneira.

Em relação à fertilidade do solo ao final do experimento, verificou-se que as concentrações dos nutrientes P ($70,56 \text{ g kg}^{-1}$), K ($0,22 \text{ g kg}^{-1}$) e Na ($0,28 \text{ g kg}^{-1}$) no solo, foram estatisticamente iguais quando se utilizou os efluentes A1, A2 e A3, independente da lâmina de água aplicada.

Quando comparado com a água de abastecimento (A4), a uso de efluentes proporcionaram maior aporte dos nutrientes. No caso do Na deve-se acompanhar esse incremento nos ciclos sucessivos a fim de evitar processos de sodificação do solo.

As concentrações de N ($39,08 \text{ g kg}^{-1}$), K ($25,95 \text{ g kg}^{-1}$), e Na ($3,91 \text{ g kg}^{-1}$) nos tecidos foliares da mamoneira, foram iguais nas plantas irrigadas com os efluentes A1, A2 e A3, não sendo observado efeito significativo para lâmina de irrigação, nem para a interação entre os fatores. As concentrações destes nutrientes nas folhas das plantas irrigadas com água de abastecimento foram estatisticamente inferiores.

Considerando que a análise foliar da mamoneira irrigada com efluentes foi realizada no final do ciclo da cultura, é possível afirmar que não houve deficiência nutricional, considerando os valores de referência recomendados na literatura especializada.

De maneira geral, os resultados obtidos permitem considerar que é promissor o aproveitamento de efluentes de esgoto doméstico tratado em cultivos agrícolas, de

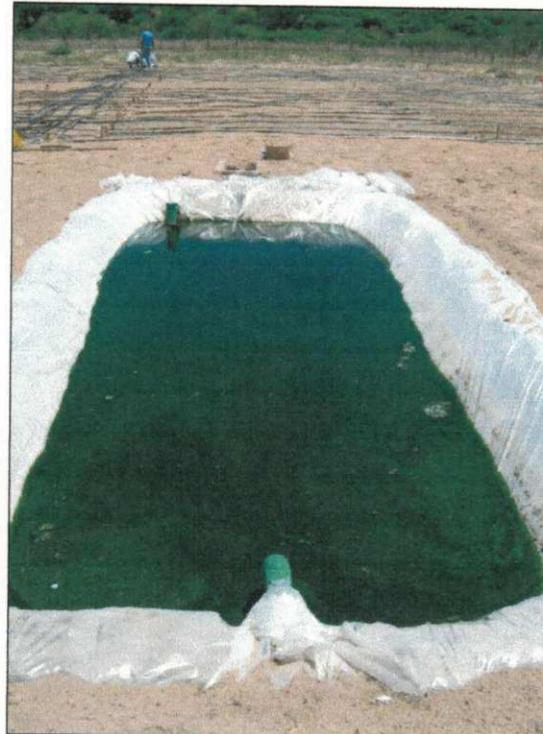
modo a otimizar a uso e a proteção dos recursos hídricos bem como a reciclagem de nutrientes.

APÊNDICE

(A).



(B).



(C).

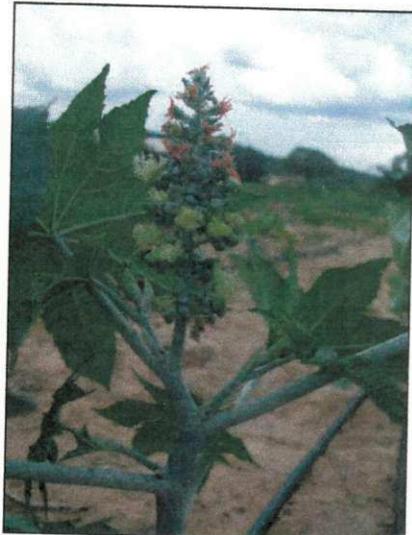


(D).

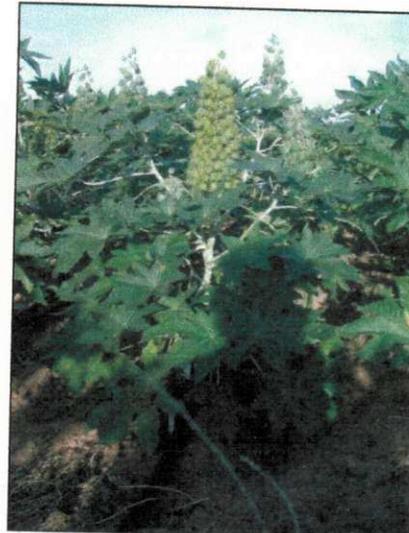


Figura 1A. Instalação do reator UASB (A), vista da lagoa de polimento do UASB (B), vista digester associado ao filtro anaeróbio (C) e intalação do sistema de irrigação (D). Ibimirim-PE, 2010.

(A).



(B).



(C).



(D).



(E).



(F).



Figura 2A. Formação primeiro racemo 31 DAG (A), racemo formado aos 86 DAG (B), germinação e emergência (C), mamona aos 44 DAG (D), acamamento devido a um temporal aos 95 DAG (E) e mamona aos 107 DAG (F). Ibimirim-PE, 2010.