

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL**

NEYLIANE COSTA DE SOUZA

**PRODUTIVIDADE DA MAMONA, IRRIGADA COM ESGOTO
DOMÉSTICO TRATADO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.**

Fortaleza-Ceará

2006

NEYLIANE COSTA DE SOUZA

**PRODUTIVIDADE DA MAMONA, IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de concentração em Saneamento Ambiental, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

Co-Orientador: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos

Fortaleza-CE

2006

NEYLIANE COSTA DE SOUZA

**PRODUTIVIDADE DA MAMONA, IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja biblioteca de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica.

Dissertação defendida e aprovada em ____/____/____ pela banca julgadora:

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. André Bezerra dos Santos
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Luis Antônio da Silva
Faculdade de Tecnologia - CENTEC

Dedico a Deus, e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, e a todas as pessoas que foram colocadas por meio Dele no meu caminho para contribuir no meu trabalho.

Aos meus pais: Sara Maria e Pedro. Em especial a minha mãe, que sempre se dedicou a minha vida, com amor e compreensão.

Ao Prof. Dr. Suetônio Mota, pela orientação e experiência necessárias à conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. André Bezerra dos Santos, pela colaboração e orientação do trabalho.

Aos meus amigos Soraia e Marcos Erick, pela amizade e aos colegas do mestrado: Aparecida, Marcos, Érica, Solange, Márcio, Paulo Henrique, Gustavo, Rodolfo e Elieser, pelo companheirismo.

As amigas Edy e Juliana, pela indispensável ajuda nos trabalhos de campo.

A todos do projeto CT-HIDRO e PROSAB – Ceará, que foram indispensáveis na realização do meu trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Saneamento – Labosan, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Ceará.

A prof^a. Ângela do Laboratório de Síntese Orgânica do Departamento de Química Orgânica, pelas análises realizadas no laboratório, e ao amigo Jefferson pela enorme ajuda e apoio nas análises.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao PROSAB e CT-HIDRO, pelo apoio e à FUNCAP, pela bolsa concedida.

S U M Á R I O

| | |
|--|-----|
| LISTAS DE TABELAS | X |
| LISTA DE FIGURAS | XII |
| LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS | XIV |
| RESUMO | XV |
| ABSTRACT | XVI |
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 OBJETIVOS | 21 |
| 2.1 Objetivo geral | 21 |
| 2.2 Objetivos específicos | 21 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 3.1 A escassez de água no semi-árido | 22 |
| 3.2 Disponibilidade de esgoto sanitário | 24 |
| 3.3 Tecnologias de tratamento: lagoas de estabilização | 26 |
| 3.3.1 Conceito e classificação | 26 |
| 3.3.2 Lagoas anaeróbias | 28 |
| 3.3.3 Lagoas facultativas | 28 |
| 3.3.4 Lagoas de maturação | 29 |
| 3.4 O reúso de águas | 30 |
| 3.4.1 Considerações iniciais | 30 |
| 3.4.2 Reúso na agricultura | 32 |
| 3.4.3 Qualidade da água na agricultura: aspectos físico-químicos | 37 |
| 3.4.4 Fertilidade do solo | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.5 Salinização do solo..... | 47 |
| 3.5 Aspectos sanitários e ambientais da utilização de esgotos domésticos tratado..... | 48 |
| 3.6 Perspectivas de produção do biodiesel no Brasil..... | 54 |
| 3.6.1 O biodiesel. | 55 |
| 3.6.2 O programa brasileiro de biodiesel..... | 59 |
| 3.7 A mamona..... | 60 |
| 3.7.1 Aspectos agrônômicos | 60 |
| 3.7.2 Cultivo da mamona..... | 61 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 64 |
| 4.1 Localização da área de estudo | 64 |
| 4.2 Estação de tratamento de esgoto | 65 |
| 4.3 Área experimental..... | 67 |
| 4.3.1 Tratamentos aplicados | 68 |
| 4.3.2 Solo da área de estudo | 68 |
| 4.3.3 Sistema de irrigação..... | 70 |
| 4.4 Seleção e restrição da cultura..... | 71 |
| 4.5 Cultivo da mamona | 72 |
| 4.5.1 Plantio..... | 72 |
| 4.5.2 Desbaste | 72 |
| 4.5.3 Fenologia..... | 72 |
| 4.5.4 Colheita, beneficiamento, armazenagem | 72 |
| 4.5.5 Componentes de produção | 73 |
| 4.6 Procedimento estatístico..... | 74 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.6.1 | Tratamentos estatísticos | 74 |
| 4.6.2 | Análise estatística..... | 74 |
| 4.7 | Análise laboratorial..... | 75 |
| 4.7.1 | Parâmetros microbiológicos | 75 |
| 4.7.2 | Parâmetros físico-químicos | 76 |
| 4.7.3 | Metais pesados | 77 |
| 4.7.4 | Extração do óleo..... | 78 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 81 |
| 5.1 | Análise das águas de irrigação | 81 |
| 5.1.1 | Análise microbiológica..... | 81 |
| 5.1.2 | Análise físico-química..... | 83 |
| 5.2 | Fenologia da planta | 92 |
| 5.2.1 | Desenvolvimento da mamona | 94 |
| 5.2.2 | Altura da planta | 95 |
| 5.2.3 | Números de folhas, números de nós e diâmetro do caule. | 100 |
| 5.3 | Componentes de produção..... | 102 |
| 5.3.1 | Números de racemos | 102 |
| 5.3.2 | Comprimento dos racemos, número de frutos e peso de sementes..... | 104 |
| 5.3.3 | Produtividade | 106 |
| 5.4 | Avaliação do sistema de irrigação | 109 |
| 5.5 | Óleo..... | 112 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 115 |
| 7 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES | 117 |

| | |
|--|------------|
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 118 |
| ANEXOS..... | 128 |

LISTAS DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 3.1 - Disponibilidade hídrica social e demandas nos estados da região Nordeste..... | 23 |
| TABELA 3.2 - Parâmetros para construção de lagoas em região de clima tropical..... | 27 |
| TABELA 3.3 - Tipos de Reúso não potável e suas respectivas finalidades. | 32 |
| TABELA 3.4 - Estimativas de áreas irrigadas e de demandas para irrigação em 2010..... | 34 |
| TABELA 3.5 - Principais exemplos de utilização de esgotos sanitários na agricultura.. | 35 |
| TABELA 3.6 - Concentração máxima de elementos químicos em águas para irrigação..... | 42 |
| TABELA 3.7 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação..... | 45 |
| TABELA 3.8 - Densidades usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários. | 49 |
| TABELA 3.9 - Diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica de esgotos sanitários na agricultura..... | 50 |
| TABELA 3.10 - Definições de riscos para a saúde pública, em função da qualidade dos efluentes tratados, utilizados na irrigação das diversas categorias de cultivos - Zonas áridas, em Lima no Peru. | 53 |
| TABELA 3.11 - Critérios de qualidade recomendados pela USEPA para reúso de águas residuárias na agricultura | 54 |
| TABELA 3.12 - Custos de poluição evitados com adição de diversas quantidades de biodiesel | 56 |
| TABELA 3.13 - Principais fontes produtoras de biodiesel no Brasil | 57 |
| TABELA 5.1 - Características microbiológicas da água e do efluente utilizado na irrigação da cultura da mamona, Aquiraz, CE, 2004..... | 81 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 5.2 - Características físico-química da água e do efluente utilizados na irrigação da cultura da mamona. Aquiraz, CE, 2005..... | 84 |
| TABELA 5.3 - Concentrações de metais pesados e desvio padrão na água e no esgoto tratado, Aquiraz, CE, 2005. | 91 |
| TABELA 5.3 - Quadro da análise de variância referente à altura da mamona..... | 99 |
| TABELA 5.4 - Médias referentes à altura da mamona. | 99 |
| TABELA 5.5 - Resumo da análise de variância referente ao: número de folhas, número de nós e diâmetro do caule da mamoneira. Aquiraz, CE, 2005..... | 100 |
| TABELA 5.7 - Quadro da análise de variância referente ao número de racemos da mamona | 103 |
| TABELA 5.9 - Resumo das análises de variâncias, referentes aos componentes de produção: comprimento do racemo (CR), peso de 100 sementes (P100S), número de frutos (NF) da mamoneira irrigada com diferentes tratamentos. Aquiraz, CE, 2005. | 105 |
| TABELA 5.12 - Teste de Tukey para as médias referentes à produção. | 109 |
| TABELA A.1 - Resultados das análises de cátions e ânions presentes na água e no efluente utilizado na irrigação, Aquiraz, Ce, 2005. | 129 |
| TABELA B.1 - Adubação utilizada nos tratamentos da mamona, Aquiraz, 2005. | 130 |
| TABELA C.1 - Dados da media mensal da precipitação e evaporação no período do experimento. Aquiraz, CE, 2005. | 131 |
| TABELA C.2 - Balanço pluviométrico da média histórica nos últimos 31 anos. Aquiraz, CE, 2005. | 131 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 4.1 - Localização do município de Aquiraz, CE, 2005. | 64 |
| FIGURA 4.2 - Vista das lagoas de estabilização, Aquiraz, CE, 2005. | 65 |
| FIGURA 4.3 - Sistema de captação de água (esquerda) e esgoto da ete (direita), Aquiraz, CE, 2005. | 66 |
| FIGURA 4.4 - Casa de bombas e reservatório (esquerda) e os filtros instalados (direita), Aquiraz, CE, 2005. | 66 |
| FIGURA 4.5 - Croqui da área experimental e a distribuição espacial das culturas, e métodos de irrigação, Aquiraz, CE, 2005. | 67 |
| FIGURA 4.7 - Quarteamento do material do solo e descarte de porções. | 69 |
| FIGURA 4.8 - Frutos da mamona, Aquiraz, CE, 2005. | 73 |
| FIGURA 4.9 - Medição do racemo da mamona, Aquiraz, CE, 2005. | 74 |
| FIGURA 4.10 - Sistema de extração de óleo soxhlet. | 78 |
| FIGURA 4.11 - Sistema de refluxo para obtenção de ésteres metílicos (a) e aparelho rota- evaporador para remoção do solvente (b). | 79 |
| FIGURA 4.12 - Extração a frio do óleo da mamona. | 79 |
| FIGURA 5.1 - Concentrações de cátions e ânions na água e no efluente utilizados na irrigação, Aquiraz, CE, 2005. | 86 |
| FIGURA 5.2 - Cultivar de caule roxo (esquerda) e a cultivar BRS 149 Nordestina (nordestina). | 92 |
| FIGURA 5.3 - Percentual de mamona cultivar nordestina BRS 149 e de caule roxo, Aquiraz, CE, 2005. | 93 |
| FIGURA 5.4 - Produtividade (kg/ha) do cultivar nordestina brs 149 e de caule roxo, nos diferentes tratamentos testados, Aquiraz, CE, 2005. | 93 |
| FIGURA 5.5 - Folhas da mamona atacadas por pragas, Aquiraz, CE, 2005. | 94 |
| FIGURA 5.6 - Folhas da mamona atacadas pela a lagarta preta (esquerda) e ácaros rajados ou vermelhos (direita), Aquiraz, CE, 2005. | 95 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 5.7 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com água e adubação recomendada (T1), Aquiraz, CE, 2005. | 96 |
| FIGURA 5.8 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com água e adubação recomendada (T2), Aquiraz, CE, 2005. | 96 |
| FIGURA 5.9 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com esgoto tratado (T3), Aquiraz, CE, 2005. | 97 |
| FIGURA 5.10 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com esgoto tratado e ½ da adubação recomendada (T4), Aquiraz, CE, 2005. | 97 |
| FIGURA 5.11 - Altura da mamoneira da plantação de Aquiraz, CE, 2005. | 98 |
| FIGURA 5.12 - Racemo da mamoneira em fase de botão floral (esquerda) e racemo na fase reprodutiva (direita), Aquiraz, CE, 2005. | 102 |
| FIGURA 5.13 - Números de racemos por planta em cada tratamento da mamoneira. | 103 |
| FIGURA 5.14 - Produtividade da mamona em kg/ha por planta. | 107 |
| FIGURA 5.15 - Índices pluviométricos nos meses de fevereiro a maio de 2005 comparados à precipitação histórica dos últimos 31anos, Aquiraz, CE, 2005. | 111 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.

ANA - Agência Nacional de Água

Ca - Cálcio

CAGECE - Companhia de água e esgoto do estado do Ceará

CE - Condutividade elétrica

COS - Carga orgânica superficial

CUD - Coeficiente de uniformidade

CV - Coeficiente de variação

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

E. coli - *Escherichia coli*

ETE - Estação de tratamento de esgotos

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EBDA - Centro de Pesquisa Agropecuária da Bahia

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica

K - Potássio

Mg - Magnésio

N - Nitrogênio

ONU - Organização das Nações Unidas

Ovo/L - Ovo de helminto por litro

P - Fósforo

RAS - Razão de adsorção de sódio

RMF - Região Metropolitana de Fortaleza

S - Enxofre

SDT – Sólidos dissolvidos totais

TDH - Tempo de detenção hidráulica

t /ha - Tonelada por hectare

UFC/mL - Unidade formadora de colônia por mililitro

RESUMO

A mamoeira (*Ricinus communis* Linn) constitui-se em grande potencial para a economia do semi-árido nordestino, como cultura alternativa e geradora de matéria-prima para o biodiesel. O reúso de efluentes encontra-se, também, como uma alternativa de fonte hídrica para regiões com escassez de água, como o semi-árido nordestino, assim, podendo promover sua utilização na agricultura. Nesta pesquisa, a mamona foi irrigada por sistema de microaspersão, onde foram testados quatro tratamentos: água bruta e adubação recomendada no solo (T1); esgoto tratado e adubação recomendada no solo (T2); esgoto tratado sem adubação (T3) e esgoto tratado e a metade da adubação recomendada (T4), com quatro repetições. A pesquisa foi conduzida durante 7 (sete) meses, entre os meses de fevereiro a agosto de 2005. O experimento foi desenvolvido em uma área anexa à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Cidade de Aquiraz, na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. A cultivar de mamona utilizada foi a BRS 149 Nordestina. A mamona foi semeada no dia 24 de fevereiro de 2005, em uma área de 25,5 m x 59 m, subdividida em quatro blocos com espaçamento entre eles de 3 m e 3,5 m. Cada bloco continha 10 linhas de plantio com 6 plantas. Avaliaram-se os dados referentes ao desenvolvimento da cultura como: altura, espessura do caule, número de folhas e número de nós, nos quais não se constataram diferenças significativas entre os tratamentos. Também foram avaliados os componentes de produção como: quantidade de racemo, quantidade de frutos, tamanho do racemo e produtividade total. O teor de óleo contido nas sementes foi avaliado, mas não apresentou nenhuma diferença significativa entre os tratamentos com adubação (T1, T2 e T4), sendo que o tratamento somente com efluente (T3) forneceu baixíssimos teores de óleo na semente. Verificou-se que as unidades irrigadas com efluente superaram as irrigadas com água bruta em quase todas as variáveis analisadas. Particularmente com relação à produtividade, obteve-se a maior produção nos tratamentos com adubação completa (T2) e com a metade da adubação (T4), os quais eram irrigados com esgoto, alcançando uma produtividade de 1.986 kg/ha e 1.412 kg/ha, respectivamente.

Palavras-chaves: *Ricinus communis*, Reúso, esgoto, efluentes, biodiesel.

ABSTRACT

The castor tree (*Ricinus communis* Linn) represents a huge potential to the economy of the semi-arid region located in the Northeast of Brazil, as an alternative crop for biodiesel production. Effluents reuse in agriculture is a water alternative for regions with water shortage, such as Northeast of Brazil. In this research, the castor seed was irrigated by using a microsprinkler system, tested in four different treatments: raw water and soil fertilization (T1); treated wastewater and soil fertilization (T2); treated wastewater without external soil fertilization (T3); and treated wastewater and half of soil fertilization (T4), each one with four repetitions. The experiment was conducted during 7 (seven) months, between February and August of 2005, in an area attached to a Wastewater Treatment System located in Aquiraz, Metropolitan Region of Fortaleza, Ceará, Brazil. The castor seed variety used was BRS 149 Nordestina. The castor seed was seeded in February 24th of 2005, in an area of 25,5m x 59m, divided in four blocks, with space of 3m and 3,5m among them. Each block contained 10 lines with 6 plants. The crop developing was assessed by the parameters: height, stem thickness, number of leaves and number of nodes, in which was not verified any significant difference among the treatments. The productivity components such as number of racemes, number of fruits, raceme size and total productivity were also monitored. The castor seeds oil content was also investigated, but any significative difference among the treatments with soil fertilization (T1, T2 and T4) was verified. The treatment tested with effluent without soil fertilization (T3) provided very low oil content in the seeds. The castor seeds production in the treatments with effluent was higher than the one with raw water in almost all the parameters analized. Particularly regarding the productivity, the highest production was obtained in the treatments with wastewater and soil fertilization (T2) and wastewater and half of soil fertilization (T4), achieving a productivity of 1.986 kg/ha and 1.412 kg/ha, respectively.

Key words: *Ricinus communis*, Reuse, wastewater, effluents, biodiesel.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de água nas atividades humanas varia muito entre diversas regiões e países. Os vários usos múltiplos da água e as permanentes necessidades de água para fazer frente ao crescimento populacional e às demandas industriais e agrícolas têm gerado permanente pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (TUNDISI, 2003). A crescente demanda de água devido às diversas atividades humanas trouxe um aumento acentuado na escassez de mananciais com qualidade adequada para o abastecimento de água após o tratamento convencional. Assim, vem sendo necessária a utilização de águas de classificação inferior para atividades que requeiram menor qualidade.

Em regiões áridas e semi-áridas, as pressões sobre os recursos hídricos são bem maiores, devido à baixa oferta de água nessas regiões. Logo, muitas medidas são tomadas e estudadas para resolução do problema de oferta de água. Além da administração das bacias hidrográficas locais, um aumento no tratamento de esgotos sanitários provenientes de centros urbanos está sendo estimulado, assim como a adaptação do reúso de esgotos tratados para diversas atividades, como: irrigação, piscicultura, recreação, paisagismo e o uso industrial.

Segundo Tundisi (2003), a intensificação da produção agrícola resultou em uso da irrigação em larga escala, tendo como resultado a retirada de 70% da água disponível, em que somente 30% a 60% da água retorna a jusante, tornando a irrigação, em termos globais, o maior usuário da água doce do planeta. O uso de águas residuárias na irrigação de culturas é uma forma alternativa de minimizar a demanda de água nesta prática e de preservar os recursos hídricos.

A utilização em agricultura de efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETE) representa um importante suplemento de água para a irrigação, já que

os nutrientes minerais e o conteúdo orgânico possuem um grande valor como fertilizantes. Os sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização são ideais para a irrigação, pois fornecem um efluente de excelente qualidade físico-química e microbiológica. Os sais minerais presentes nos efluentes das lagoas são imediatamente consumidos pelas plantas, que possuem uma combinação balanceada para promover o seu crescimento eficiente (PEARSON *et al*, 1988 apud SANTIAGO, 1999).

O reúso na agricultura traz muitos benefícios, mas existem restrições que limitam significativamente os seus usos. Os constituintes presentes nos esgotos brutos e tratados podem ser nocivos ao solo, às águas subterrâneas e superficiais, às culturas e à saúde. Dessa forma, torna-se imprescindível o estudo da qualidade das águas de irrigação e da viabilidade do seu uso, considerando suas diversas variáveis que refletem na saúde dos homens e dos animais, na proteção do meio ambiente, na manutenção da fertilidade do solo, e na produtividade e qualidade das culturas (ALMEIDA, 2005).

Segundo Ayres e Westcot (1991), a compreensão da relação causa e efeito entre um componente presente na água e o problema resultante da sua aplicação, permite avaliar sua qualidade, e determinar seu grau de aceitabilidade e suas restrições de uso.

A descoberta de novos combustíveis alternativos trouxe um incremento no cultivo de culturas oleaginosas para produção de biodiesel (PARENTE, 2003). O biodiesel constitui um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto.

Uma das culturas mais visadas para a produção de biodiesel na região nordeste é a cultura da mamona. A cultura da mamona (*Ricinus communis* L.)

reveste-se de elevada importância para o semi-árido brasileiro por ser de fácil cultivo e alta resistência à seca, além de proporcionar ocupação e renda para milhares de pequenos produtores.

O Programa Brasileiro de Biodiesel pretende suprir a demanda de diesel que é importada no Brasil, sendo, portanto, necessário cultivar 14 milhões de hectares de mamona. A meta de produção de biodiesel seria dimensionada com base na erradicação da miséria na região semi-árida do nordeste brasileiro, ocupando dois milhões de famílias que convivem com a fome. A estratégia seria a implementação de um programa de lavoura familiar com base na mamona para geração de renda (TELES, 2003).

O reúso de águas na irrigação da mamona pode ser um incentivo a mais para implementação do Programa Brasileiro de Biodiesel, onde o seu uso poderá ser difundido em toda região do semi-árido brasileiro, significando um aumento na oferta de água para este fim.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a potencialidade agronômica e sanitária do uso de esgotos domésticos tratados em lagoas de estabilização no cultivo da mamona, a qual seria utilizada na produção do biodiesel em comunidades do semi-árido.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desenvolvimento da cultura em experimentos irrigados com água bruta (testemunhos) e esgoto doméstico tratado.
- Avaliar os aspectos produtivos da cultura da mamona: quantidade de racemo e frutos, e tamanho e peso das sementes da cultura, entre os diferentes tratamentos utilizados.
- Avaliar o comportamento da mamoneira, em função de níveis de adubação aplicado nos experimentos.
- Avaliar aspectos sanitários do cultivo da mamona com o efluente tratado, inclusive os riscos decorrentes.
- Verificar a influência do esgoto doméstico no teor de óleo da semente da mamona produzida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A escassez de água no semi-árido

Em razão das peculiaridades climáticas causadas por diferenças latitudinais e altitudinais, as águas doces não estão distribuídas igualmente pelo planeta. Dentre as regiões que apresentam má distribuição de água estão as regiões áridas e semi-áridas, com uma disponibilidade hídrica de menos de 1.000 m³ / ano / pessoa (TUNDISI, 2003). Nessas regiões, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (SANTOS *et al.*, 2004).

O mundo já está vivendo uma crise de água. Atualmente, 29 países não possuem água doce para toda a população. Em 2025, segundo a ONU - Organização das Nações Unidas, serão 48, e em 2050, cerca de 50 países sofrerão o problema da escassez de água (MACEDO, 2000; SILVA *et al.*, 2003). Com base na disponibilidade de 1000 m³ de água renovável por pessoa/ano, existem projeções que antecipam a escassez de água em diversos países do mundo, entre 1955 e 2025. Alguns países como Malta, Djibuti, Barbados, Cingapura, Kuwait e Jordânia, enfrentam a escassez de água desde 1955. A partir de 1990, outros países se juntaram à lista anterior, entre eles: Qatar, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Iêmen, Israel, Tunísia, Cabo Verde, Quênia, Burundi, Argélia, Ruanda e Somália. A partir de 2025, a previsão é que outros países sejam adicionados aos anteriores, sob todas as projeções de crescimento populacional das Nações Unidas, como a Líbia, Omã, Marrocos, Egito, Camarões, África do Sul, Síria, Irã, Etiópia e Haiti (SANTOS e MANCUSO, 2003).

De acordo com Maltchick (1997), cerca de 20% da população mundial, correspondente a mais de 1,0 bilhão de pessoas, vivem em regiões semi-áridas. No Brasil, isso representa um contingente de mais de 20 milhões de indivíduos que vivem no semi-árido nordestino. Segundo dados e registros da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a área do Nordeste brasileiro é de 1.555.001 Km², correspondente a 18% do território nacional, dos quais 75% são classificados como semi-áridos e áridos (EMBRAPA, 1993).

O semi-árido nordestino abrange quase todos os estados da região Nordeste e o norte de Minas Gerais. São regiões de convivência com as secas periódicas, onde existe grande contingente de miseráveis rurais.

O potencial hídrico das regiões hidrográficas do nordeste do Brasil e a disponibilidade hídrica social, incluindo-se os dados de densidade populacional e a utilização anual em metros cúbicos por ano, são apresentados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - Disponibilidade hídrica social e demandas nos estados da região Nordeste.

| Estados | Potencial hídrico* (km ³ /ano) | População habitantes** | Disponibilidade hídrica social (m ³ /hab/ano) | Densidade População (hab/km ²) | Utilização*** Total (m ³ /hab/ano) | Nível de utilização 1991 |
|--------------|---|------------------------|--|--|---|--------------------------|
| Maranhão | 84,7 | 5.222.123 | 16.226 | 15,89 | 61 | 0,35 |
| Piauí | 24,8 | 2.673.085 | 9.185 | 10,92 | 101 | 1,05 |
| Ceará | 15,5 | 6.809.290 | 2.279 | 46,42 | 259 | 10,63 |
| R.G.do Norte | 4,3 | 2.558.660 | 1.654 | 49,15 | 207 | 11,62 |
| Paraíba | 4,6 | 3.305.616 | 1.394 | 59,58 | 172 | 12,00 |
| Pernambuco | 9,4 | 7.399.071 | 1.270 | 75,98 | 268 | 20,30 |
| Alagoas | 4,4 | 2.633.251 | 1.692 | 97,53 | 159 | 9,10 |
| Sergipe | 2,6 | 1.624.020 | 1.625 | 73,97 | 161 | 5,70 |
| Bahia | 35,9 | 12.541.675 | 2.872 | 22,60 | 173 | 5,71 |

Fontes: 1. SRHIMMA apud TUNDISI (2003).

Segundo Duque (1973), as condições de aridez de muitas regiões do mundo têm sido estudadas por diversos especialistas quanto aos aspectos meteorológicos e fisiográficos. Com referência ao clima, o semi-árido é caracterizado pelo balanço hídrico negativo, com precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2.800 h/ano, temperaturas médias anuais de 23°C a 27°C, evaporação de 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%.

Em várias regiões fisiográficas do semi-árido, por exemplo, Seridó Paraibano, não há orvalho, o índice de aridez é de 3,3 e a temperatura média das máximas atinge 33°C, com baixa umidade relativa do ar durante quase todo o ano. Ele possui estação de cultivo curta, mais de 60% das chuvas do ano concentrados em 3 a 4 meses, potencial hídrico do ar que atinge valores tão baixos quanto – 1.500 bars, especialmente nos meses mais secos e quentes, como outubro e novembro, caracterizando a elevadíssima demanda evaporativa do ar existente na região semi-árida, o que estabelece um gradiente do potencial hídrico bastante elevado no Sistema Solo-Planta-Atmosfera (TUNDISI, 2003).

3.2 Disponibilidade de esgoto sanitário

Um claro atrativo da utilização de esgotos sanitários é a disponibilidade de água. Considerando a contribuição *per capita* de esgotos de 150 - 200 L/hab.dia e a demanda genérica de água para irrigação e piscicultura de, respectivamente, 1,0-2,0 m³/ano (m³.m⁻².ano⁻¹) e 10 L.s⁻¹.ha⁻¹, constata-se que as águas residuárias produzidas por pessoa seriam suficientes para irrigar 30-70 m² e para suprir uma área de cultivo de peixes de 1,7-2,3 m². Ou seja, uma população de 10.000 habitantes produziria “água” para irrigar cerca de 50 ha e para o cultivo de peixes em 2 ha (BASTOS, 2003).

No início do século XX, com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento de água residuária e da preocupação com a contaminação por microrganismos, houve significativa redução do uso de água residuária para fins de irrigação (AYRES e WESTCOT, 1991; STEIN e SCHWARTZBROD, 1990). Contudo, principalmente nas últimas três décadas, o uso de água residuária para a irrigação, tem crescido acentuadamente.

Em Israel, em 1985, os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos já representavam cerca de 7% das águas de irrigação e as previsões para o ano 2000 indicavam que este valor seria de 25% (VARGAS, 1990). Já segundo Shelef (1991), por volta de 2010, os esgotos sanitários tratados responderão por quase 30% de toda a água disponibilizada para a agricultura naquele país. Também notável é a

experiência na cidade do México, onde cerca de $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de esgotos sanitários, combinados a $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de águas pluviais, são utilizados na irrigação de 80.000 ha (BASTOS, 2003).

No caso do Distrito Regional de Toulumne, na Califórnia - EUA, as águas residuais urbanas, são armazenadas e tratadas, e depois distribuídas aos agricultores para irrigar 500 ha de pastos e outras culturas forrageiras. Em Fresno, também na Califórnia, tratam-se $1,5 \times 10^5 \text{ m}^3$ de águas residuais por dia. Com estas águas, irrigam-se 275 ha que pertencem ao município, nos quais se cultivam milho e algodão (AYERS e WESTCOT, 1991).

No Brasil, a cobertura da rede de água chega a 90% da população, mas somente 49% dos habitantes são servidos por redes de esgoto. Da percentagem de esgoto que é coletado, somente 8% são adequadamente tratados antes de serem lançados em um corpo d'água. Tem-se que aproximadamente 20 milhões de metros cúbicos de esgoto sem tratamento são diariamente lançados no mar e nos rios, contribuindo assim para a diminuição da qualidade das águas superficiais brasileiras (LINO, 2002 ; SILVA et al., 2003).

No Ceará, o setor público tem feito investimentos para aumentar a cobertura dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, principalmente nos centros urbanos (ALVES, 2005). Segundo dados fornecidos pela CAGECE (Companhia de água e esgoto do estado do Ceará), o Estado do Ceará conta com oitenta e três estações de tratamento de esgotos – ETE's, do tipo lagoas de estabilização. As ETE's estão localizadas em áreas de população de baixa renda não servidas pelo sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários. No entanto, pouco se tem feito sobre a reutilização de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto.

Apesar disto, a qualidade das águas superficiais empregadas na agricultura urbana da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF, avaliadas por Araújo (1999), pode ser considerada equivalente à do efluente final dos sistemas de lagoas de estabilização (MOTA, 2000).

3.3 Tecnologias de tratamento: lagoas de estabilização

3.3.1 Conceito e classificação

Lagoas de estabilização são corpos de águas lânticas, normalmente de configurações retangulares ou quadradas, construídas por escavações rasas, cercadas de taludes de terra. O tratamento de esgotos ocorre de forma natural por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Os principais microrganismos presentes nas lagoas são bactérias, algas e protozoários, sendo que as bactérias são as principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica solúvel presente no esgoto (SOUZA e LEITE, 2002).

Os sistemas de lagoas de estabilização podem ser classificados, com relação à presença de oxigênio em: aeróbio, anaeróbio, facultativo, e de maturação (METCALF e EDDY, 1991). Conforme a disponibilidade de área e o nível de tratamento requerido para os efluentes, os sistemas de lagoas são configurados de maneira a utilizar apenas uma célula ou diversas células, que são arranjadas em série ou paralelo. Tais arranjos visam também maior flexibilidade operacional (VON SPERLING, 2002).

Tsutiya (2001) relata que as lagoas de estabilização são a tecnologia mais adequada para o tratamento de esgotos para o uso agrícola. No Estado do Ceará esse tipo de tecnologia é amplamente utilizada, principalmente devido as suas condições climáticas.

Silva (2004) menciona que a diminuição microbiológica dos efluentes provenientes de lagoas de estabilização das séries de 4 e 5 lagoas mostra o potencial do reúso para fins agronômicos. Relata, ainda, que a expectativa é que até 2010 haja uma vazão anual de pelo menos 15 milhões de m³ de efluentes de lagoas de estabilização para reúso.

No Ceará, atualmente, somente a RMF conta com 21 (vinte e uma) ETEs do tipo lagoas de estabilização, localizadas nas áreas não servidas pelo sistema de disposição oceânica, ao passo que no litoral e interior estão localizados outros 62

(sessenta e dois) sistemas (BRANDÃO, 2004). Do total de lagoas, foram construídos 35 (trinta e cinco) sistemas de lagoas facultativas primárias e 48 (quarenta e oito) sistemas configurados em série.

As principais vantagens do emprego de lagoas de estabilização são: simplicidade de construção, operação e manutenção; baixo custo de operação e manutenção comparado com os outros métodos; capacidade para suportar grandes variações de cargas orgânicas e hidráulicas; e grande eficiência na remoção de matéria orgânica. Como desvantagens, podem ser citadas: necessidade de grandes áreas para sua implantação; uma possível liberação de maus odores caso sejam mal projetadas; e elevado crescimento de algas, podendo causar sérios prejuízos à vida aquática, caso o efluente seja lançado em corpos receptores. Na Tabela 3.2 são apresentados os principais parâmetros de projeto utilizados para construção de lagoas de estabilização em regiões de clima tropical.

TABELA 3.2 – Parâmetros para construção de lagoas em região de clima tropical.

| Parâmetro | Lagoa anaeróbia | Lagoa facultativa | Lagoa de maturação |
|---|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| TDH (dia) | 4 a 5 | 6 a 12 | 7 a 21 |
| Profundidade (m) | 3 a 5 | 1,3 a 1,7 | 1,0 a 1,5 |
| COS (kgDBO ₅ .ha ⁻¹ .dia ⁻¹) | > 400 | < 300 | > 150 |
| Área necessária (m ² /hab.) | 0,20 a 0,33 | 1,5 | 2,0 |

Legenda: COS: carga orgânica superficial; TDH: tempo de detenção hidráulica.
Fonte: SOUSA e LEITE, 2002.

Geralmente, para tratar esgotos sanitários, usa-se uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa e, quando se pretende reduzir organismos patogênicos, utilizam-se lagoas de maturação, costumeiramente, duas lagoas em série (SOUSA e LEITE, 2002). Outros sistemas combinados, também podem ser utilizados para tratamento de esgotos sanitários, como o sistema de lodos ativados ou reator anaeróbio, os quais lhes conferem uma maior eficiência de remoção de DBO

(Demanda bioquímica de oxigênio) e coliformes fecais, além do que necessitam de uma área menor.

3.3.2 Lagoas anaeróbias

São projetadas para remover DBO, primeiro através da remoção e subsequente digestão de matéria orgânica em suspensão. A lagoa anaeróbia não depende da ação fotossintética das algas, podendo assim ser construída com uma profundidade maior que os outros tipos de lagoas.

Elas têm profundidades maiores, servindo para acumular lodo e também para manter condições anaeróbias. O tratamento é dependente da temperatura: abaixo de 10° C (temperatura crítica para metanogênese), uma pequena digestão ocorre e as lagoas anaeróbias atuam como base de sedimentação. As cargas orgânicas de lagoas anaeróbias em climas quentes não ultrapassam 100 g.m⁻³.d⁻¹, quando um período de detenção de 2-4 dias é necessário, dependendo da composição da água residuária (MARA *et al.*, 1992; SANTIAGO, 1999).

As lagoas anaeróbias têm sido utilizadas para o tratamento de esgotos domésticos e despejos industriais predominantemente orgânicos, com altos valores de DBO, como os de matadouros, laticínios, bebidas etc. (VON SPERLING, 2002).

Têm eficiência para remoção de:

- DBO – 70 a 90%
- Nitrogênio – 30 a 50%
- Fósforo – 20 a 60%
- Coliformes – 60 a 99,9%

3.3.3 Lagoas facultativas

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. As vantagens relacionam-se à grande simplicidade e à confiabilidade da operação. No entanto, a natureza é lenta, necessitando de longos tempos de detenção para que as reações se completem, o que implica em grandes

requisitos de área (VON SPERLING, 2002). Contudo, elas têm como eficiência de remoção de:

- DBO – 70 a 85%
- Nitrogênio – 30 a 50%
- Fósforo – 20 a 60%
- Coliformes – 60 a 99%

Nas lagoas facultativas, formam-se três zonas: (1) a zona superficial, onde as bactérias aeróbias e as algas vivem em simbiose que decompõem a matéria orgânica, produzindo principalmente gás carbônico, que serve de nutriente às algas, que pela ação do sol, transformam o gás carbônico em hidratos de carbono, através da fotossíntese, liberando oxigênio que se dissolve na água, e é utilizado pelas bactérias para oxidar a matéria orgânica; (2) uma zona anaeróbia no fundo, onde há acumulação de sólidos (lodo) que são decompostos por microrganismos anaeróbios; e (3) uma zona intermediária que é parte aeróbia e parte anaeróbia, onde os resíduos orgânicos são decompostos por bactérias facultativas que convertem a matéria orgânica tanto na presença como na ausência de oxigênio (METCALF e EDDY, 1991).

3.3.4 Lagoas de maturação

O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de organismos patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os microrganismos patogênicos, como: radiação ultravioleta, elevado pH, elevado oxigênio dissolvido. Os ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a sedimentar. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetivam a remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é elevadíssima (VON SPERLING, 2002). A eficiência de remoção alcançada é, para:

- DBO – 90%
- Nitrogênio – 30 a 50%
- Fósforo – 20 a 60%

- Coliformes – 99,9%

3.4 O reúso de águas

3.4.1 Considerações iniciais

Na medida em que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água, impondo-se, assim, limites para o seu desenvolvimento econômico. Portanto, o manejo holístico da água doce como um recurso finito e vulnerável, com a integração de planos e programas hídricos setoriais aos planos econômicos e sociais nacionais, é uma medida de importância fundamental (AGENDA 21). Diante desse cenário, se fazem necessárias alternativas que sejam possíveis para o consumo racional e sustentável do recurso água, destacando-se o reúso de águas.

Além da necessidade de desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reúso consciente e planejado de águas de baixa qualidade, dentre elas as águas de drenagem agrícola, águas salobras, águas de chuva e, principalmente, esgotos domésticos e industriais, constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão, para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil (HESPANHOL, 2003a).

No Brasil, a Agência Nacional de Água – ANA criou uma equipe de estudos para desenvolver um programa nacional de reúso da água, como uma das soluções para diminuir a coleta dos mananciais e prolongar a reserva hídrica dos rios. O estudo da ANA, cujo projeto foi aprovado pelo Congresso em junho de 2000, reflete uma mentalidade avançada do país quanto à busca do uso sustentável dos recursos hídricos (HESPANHOL, 2003b). No entanto, segundo Mancuso e Santos (2003), atualmente, não há nenhuma forma de ordenação política, institucional, legal ou regulatória que oriente as atividades de reúso praticadas no território nacional.

Atualmente, cresce a importância do uso racional da água. No entanto, pouco ainda se tem registrado sobre a utilização direta de efluentes, tratados ou

não, o que não significa a sua inexistência de forma indiscriminada e sem controle. De acordo com Andrade Neto (1992) *apud* Bastos (2003), existem diversos exemplos de utilização espontânea de esgotos tratados ou não no nordeste do país, incluindo o plantio de milho, melancia, abóbora e capim para alimentação animal.

De acordo com Mancuso e Santos (2003), o reúso de águas pode ser classificado em:

- Reúso potável direto: trata-se da utilização direta de efluentes rigorosamente tratados como água para abastecimento humano.
- Reúso potável indireto: trata-se simplesmente da utilização de água proveniente de fontes hídricas que já receberam esgotos.
- Reúso não-potável: trata-se da utilização de efluentes tratados para atividades que não requerem água potável, como: agrícola; industrial; municipal (irrigação de áreas verdes, limpeza, hidrantes); aquicultura (piscicultura); recarga de aquíferos; ambiental (paisagístico e recreativo) e doméstico (descarga sanitária).

Portanto, os esgotos domésticos quando tratados, podem ser usados para fins potáveis e não potáveis, sendo que a reutilização para fins não potáveis é a mais indicada por ser mais simples, ter menos custo e oferecer menos riscos à saúde. Desta forma, as características químicas, físicas e biológicas do efluente produzido durante o tratamento do esgoto, definirão a finalidade de uso da água.

A Tabela 3.3 apresenta alguns tipos de reutilização de efluentes e suas respectivas finalidades.

TABELA 3.3 – Tipos de Reúso não potável e suas respectivas finalidades.

| Tipo de reúso | Finalidades |
|----------------------|---|
| Agricultura | Irrigação de culturas regionais Irrigação de áreas de pastagem |
| Pecuária | Dessedentação de animais |
| Recreação e público | Irrigação de parques Campo esportivo Lagoas ornamentais |
| Indústria | Torre de resfriamento Trocador de calor Caldeira |
| Diluição de esgotos | Manutenção de vazões mínimas de curso de água nas condições de lançamento |
| Doméstico | Descarga sanitária Lavagem de carro Área verde de condomínio |
| Aqüicultura | Produção de peixes e camarões Plantas aquáticas |
| Recarga de aquíferos | Complementação do nível de aquíferos em região litorânea |

Fonte: SOUSA e LEITE, 2002

3.4.2 Reúso na agricultura

Países ricos consideram o tratamento de esgoto como vital para proteger a saúde humana e prevenir a contaminação de lagos e rios, muito embora esta solução seja muito cara na maioria das vezes. Neste caso, aplicar o esgoto em terras agrícolas é uma alternativa mais econômica e mais ecologicamente segura do que a descarga descontrolada de efluentes sanitários e industriais em lagos e rios (IWMI, 2002; SHAW, 1999; EDWARD, 1992).

Nos últimos anos, vários fatores vieram contribuir para o aumento do interesse pela irrigação com efluentes, dentre eles: a escassez de recursos hídricos, avanço do conhecimento técnico-científico em relação ao potencial que representa o

reúso de esgotos, as limitações do reúso agrícola e também pelas suas inegáveis vantagens como controle da poluição ambiental, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola. Além disso, o interesse pelo reúso planejado, ou seja, aquele seguro do ponto de vista de contaminação e controlado do ponto de vista agrícola, surgiu do próprio reconhecimento da importância do controle da utilização de esgotos na agricultura, com o objetivo de impedir o uso sem critério definido (BASTOS, 2003).

Segundo Snel (2002), existem várias vantagens do reúso de efluentes, principalmente na agricultura, a citar:

- Conservação da água;
- Métodos de baixo custo para disposição de esgotos municipais;
- Redução da poluição de rios, canais e outros recursos hídricos superficiais;
- Conservação de nutrientes, redução da necessidade de fertilizantes artificiais na agricultura;
- Aumento da produção de culturas; e
- Provisão de um suprimento de água confiável para áreas agrícolas.

No entanto, isto não pode ocultar o fato de existir também um efeito negativo potencial da irrigação com esgoto, que não pode ser ignorada, incluindo-se:

- Risco à saúde dos irrigadores e comunidades em contato prolongado com esgoto não tratado e que consomem vegetais irrigados com esgoto;
- Contaminação de aquíferos (nitratos);

- Acumulação de poluentes químicos no solo (metais pesados);
- Criação de habitat para diversos vetores; e
- Excessivo crescimento de algas e vegetação em canais de distribuição do esgoto (eutrofização).

A irrigação de culturas com água residuária foi introduzida inicialmente em propriedades rurais na Europa, América do Norte e Austrália, tornando-se popular em fins do século XIX e início do século XX. Entretanto, com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento das águas residuárias e da preocupação com a contaminação por microrganismos, houve significativa redução do uso destas águas para fins de irrigação, tornando-se menos popular e, praticamente, desaparecendo por completo logo após a Primeira Guerra Mundial (STEIN e SCHWARTZBROD, 1990).

O desenvolvimento agrícola depende da disponibilidade de água e de seu uso adequado. A utilização da água para irrigação e o uso para abastecimento rural representam desafios relevantes para áreas com escassez deste recurso, pois nessas áreas estão concentrados muitos problemas de saúde pública relacionados ao saneamento ambiental. Na Tabela 3.4 apresentam-se estimativas de áreas irrigadas e de demandas para irrigação em 2010 nas várias regiões do Brasil.

TABELA 3.4 – Estimativas de áreas irrigadas e de demandas para irrigação em 2010.

| Região | Área irrigada (1.000 ha) | Demanda específica (L/s.ha) | Vazão demandada (m ³ /s) | %demanda total |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|-------------------|
| Sul | 1.150 | 0,226 | 259,90 | 28,00 |
| Sudeste | 900 | 0,297 | 267,30 | 28,80 |
| Nordeste | 450 | 0,472 | 212,40 | 22,88 |
| Centro-Oeste | 400 | 0,380 | 152,00 | 16,37 |
| Norte | 100 | 0,367 | 36,70 | 3,95 |
| Total | 3.000 | | 928,30 | |

Fonte: Crstofidis (1999) apud Tundisi (2003)

A utilização de esgotos sanitários em irrigação, após tratamento ou “*in natura*”, é uma prática antiga e corrente em diversos países, como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No Brasil, embora a prática do reúso de águas servidas ainda seja pequena, registram-se vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral de forma espontânea e não controlada.

Experiências realizadas no México mostram que ela pode se constituir num caminho para o aumento da produtividade das culturas. Este fato foi demonstrado pelo uso de água residuária, constituída de uma mistura de descarga doméstica, industrial e de chuva, para a irrigação de uma área de 8.500 ha. Para tanto, a água aplicada sofreu um tratamento primário avançado. Com este processo, as características da água reutilizada não provocaram efeitos negativos e a produtividade das plantas mostrou melhores níveis (JIMÉNEZ-CISNEROS, 1995). Na Tabela 3.5 é apresentado um panorama da experiência catalogada de utilização agrícola de esgotos sanitários em diversos países.

TABELA 3.5 - Principais exemplos de utilização de esgotos sanitários na agricultura.

| País | Área irrigada(ha) |
|----------------|-------------------|
| Argentina | 37.000 |
| Austrália | 10.000 |
| Alemanha | 28.000 |
| África do Sul | 1.800 |
| Arábia Saudita | 4.400 |
| Bahrain | 800 |
| Chile | 16.000 |
| China | 1.330.000 |
| Estados Unidos | 14.000 |
| Índia | 73.000 |
| Israel | 10.000 |
| Kuwait | 12.000 |
| México | 250.000 |
| Peru | 4.300 |
| Sudão | 2.800 |
| Tunísia | 7.300 |

Fontes: Mara & Cairncross (1989); Strauss & Blumenthal (1989) apud Bastos (2003)

Em Braunschweig, República Federal da Alemanha, utilizam-se as águas residuais na produção de culturas há quase 100 anos. Em 1954, o sistema incluiu 3.000 ha irrigados por aspersão. As águas residuais foram entregues a 300 agricultores através de 100 km de tubulação enterrada (AYERS e WESTCOT, 1991).

Pesquisas realizadas com águas residuárias por Lucas Filho *et al.* (2001) observaram que a cultura de milho apresentou melhor desenvolvimento vegetativo e produtivo quando esse foi irrigado com água residuária, apesar dos aportes de N, P e K adicionado no solo através da água terem sido inferiores às doses recomendadas para a adubação química.

Monte e Souza (1992) avaliaram a aplicação do efluente final de água residuária doméstica tratada em um sistema de lagoa de estabilização do tipo facultativa, comparada com água potável misturada com fertilizante comercial para a irrigação das culturas de milho, sorgo e girassol, utilizando a irrigação por gotejamento e sulco. Os autores concluíram que houve aumento na produção com uso de efluente, onde economizaram cerca de 140 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 110 kg.ha⁻¹ de K₂O. Quanto aos efeitos de contaminação na cultura, verificaram que não houve presença de coliformes fecais, embora se mostrassem necessárias análises mais detalhadas.

Na utilização de efluente secundário municipal por Neilsen *et al.* (1989), na irrigação por gotejamento do tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão, foi obtida uma produção maior ou semelhante à obtida com água superficial.

De acordo com pesquisas realizadas no estado do Ceará, por Araújo (2000), o reúso informal de efluentes tratados provenientes de lagoas de estabilização, já faz parte do cenário da agronomia urbana (irrigação e piscicultura), ocorrendo em pelo menos nove sistemas da RMF, englobando a piscicultura da Tilápia Nilótica, e o reúso direto na irrigação de maracujá, côco, forragem e culturas hortícolas.

Apesar do relatado potencial para o reúso de esgotos sanitários em irrigação, o manejo inadequado das irrigações com esgotos sanitários podem resultar em sérios riscos à saúde, efeitos deletérios no solo e nas plantas e em impactos ambientais, como a lixiviação de poluentes e a contaminação das águas subterrâneas (BASTOS, 2003). Portanto, deve-se atentar para um uso criterioso dessas águas, de forma a ser uma atividade sustentável.

3.4.3 Qualidade da água na agricultura: aspectos físico-químicos

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, o aspecto qualidade que fora desprezado no passado devido às fontes de água serem de boa qualidade e de fácil utilização, hoje merece especial atenção. Portanto, o uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica que, tanto para os projetos novos como para os antigos que requerem águas adicionais, têm que se recorrer às águas de qualidade inferior (AYERS e WESTCOT, 1991).

A qualidade da água de irrigação é determinante não somente em função de suas características físicas, químicas e biológicas, como também da adequação ao uso específico a que se destina (AYERS e WESTCOT, 1991). Tal necessidade exige conhecimento prévio, não só de suas propriedades, mas também dos efeitos e riscos à saúde e ao meio ambiente.

Quando da utilização de esgotos na agricultura, as características físico-químicas e biológicas das águas devem levar em consideração diversas variáveis que se refletem na produtividade e qualidade das culturas, na manutenção da fertilidade do solo e na proteção do homem e do meio ambiente. Entre os contaminantes dos esgotos que podem degradar a qualidade dessas águas estão os sais, os nutrientes e os traços de elementos químicos, os quais estão relacionados com os principais problemas no solo como salinidade, permeabilidade, toxicidade de íons específicos e concentração de nutrientes (AYERS e WESTCOT, 1991; EPA, 1981).

Em geral, os esgotos sanitários apresentam teores de macro e micronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas.

Desta forma, o uso de água de esgoto domiciliar pode apresentar 200-400 mg.L⁻¹ de sais (BOUWER, 1992) e 300 mg.L⁻¹ de sólidos inorgânicos dissolvidos (EVANS *et al.* 1991). Assim, a irrigação das culturas através de corpos d'água que recebem lançamentos de esgotos sanitários, pode ser considerada uma fertirrigação (NUVOLARI, 2003).

Temperatura

A temperatura dos esgotos é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento. Normalmente, a temperatura nos esgotos está acima da temperatura do ar, à exceção dos dias mais quentes do verão. Em relação aos processos de tratamento, sua influência dá-se nas operações de natureza biológica, pois a velocidade de decomposição dos esgotos é diretamente proporcional ao aumento da temperatura (PAGANINI, 1997).

pH

O pH tem relação direta com a fotossíntese (com o consumo de CO₂, o íon bicarbonato (HCO₃⁻) tende a se converter a OH⁻, elevando-se o pH) e com a respiração (com a produção de CO₂, o íon bicarbonato tende a se converter em H⁺, nesse caso, o pH se reduz) (VON SPERLING, 1996).

As mudanças de pH no solo, ocasionadas pela água, são bastante lentas. Assim, sendo possível uma correção diretamente na água de irrigação, ou mais comumente a aplicação de corretivos no solo como calcário, enxofre e gesso (AYRES e WESTCOT, 1991).

Matéria orgânica

Em geral, a irrigação com esgotos sanitários, traz efeitos benéficos ao solo, com a incorporação de matéria orgânica. Entretanto, este aspecto também deve ser monitorado e controlado. Existe uma estreita relação entre matéria orgânica disponível no solo e desnitrificação; o carbono orgânico pode induzir a desnitrificação causando graves perdas de nitrato (FEIGIN *et al.*, 1991 *apud* BASTOS, 2003).

Nos esgotos sanitários, cerca de 70% dos sólidos, em média, são de origem orgânica e, geralmente, esses compostos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio, e algumas vezes com nitrogênio (PAGANINI, 1997).

Macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca e S)

O nitrogênio é um elemento extremamente importante na síntese de proteínas pelas plantas e pode vir a ser um fator limitante na produção de alimentos (PAGANINI, 1997). Segundo Ayres e Westcot (1991), o nitrogênio contido nas águas de irrigação tem o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio aplicado com os fertilizantes. Portanto, a aplicação de quantidades excessivas com a irrigação pode aumentar o crescimento vegetativo, retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade.

O nitrogênio encontra-se combinado com vários complexos orgânicos e inorgânicos, existindo, portanto, várias formas de se expressar seu teor. O fator mais importante para as plantas é o nitrogênio total, mesmo que seu teor se expresse em forma de nitrato ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), de amônio ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) ou como nitrogênio orgânico (AYRES e WESTCOT, 1991). O nitrogênio mais facilmente assimilável encontra-se na forma de nitrato e de amônio.

O fósforo é um dos 16 nutrientes essenciais ao crescimento e reprodução das plantas. Desempenha a função de converter energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas. Promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, o crescimento da planta; afeta a qualidade das frutas dos vegetais e dos grãos, e é vital para a formação de sementes (MALAVOLTA, 1996). Esse nutriente é parte importante dos ácidos nucleicos e dos compostos de transferência de energia, sendo, assim, essencial para as plantas, animais e crescimento microbiano. O fósforo disponível pode ser absorvido por microrganismos ou por plantas e convertido em material celular (PAGANINI, 1997).

Na mamoneira, a falta de fósforo causa inicialmente um crescimento lento devido provavelmente à redução na absorção de nutrientes, da taxa fotossintética e da translocação interna de carboidratos (FERREIRA et al., 2004).

Souza et al. (1974) estudando os efeitos da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produção da mamoneira, constataram que o fósforo foi o nutriente que proporcionou as maiores produções.

O potássio é um nutriente que as plantas exigem mais do que qualquer outro nutriente, exceto o nitrogênio. Ao contrário de outros elementos, o potássio (K⁺) não forma compostos nas plantas, mas permanece livre para regular os processos essenciais como ativação enzimática, fotossíntese, uso eficiente da água, formação de amido e síntese de proteínas (MALAVOLTA, 1996).

Estudos realizados por Severino *et al.* (2005), na mamoneira nordestina BRS-149, demonstraram que as doses de potássio influenciaram, de forma linear, apenas o número de cachos. Entre os tratamentos com e sem adubação os autores constataram influência sobre a altura de inserção do primeiro cacho e no teor de óleo.

Malavolta (1996) classifica magnésio (Mg) e cálcio (Ca) como nutrientes secundários, que têm um efeito primário na produção vegetal e animal. As quantidades de magnésio exigidas pelas culturas são menores que as de potássio ou cálcio, mas praticamente iguais às de fósforo ou enxofre.

O magnésio é um constituinte da clorofila e, por conseguinte, importante na fotossíntese. Participa do metabolismo dos carboidratos, além de ser ativador de enzimas envolvidas na síntese de ácidos nucléicos (OLIVEIRA e THUNG, 1988 apud MAGALHÃES, 2004).

O cálcio é um constituinte da parede celular e da estrutura dos lipídios que entra na formação das membranas celulares e é necessário para a mitose. Junto ao Mg e K ajuda a neutralizar os ácidos orgânicos na planta e contribui para aumentar a resistência de doenças (MALAVOLTA, 1996).

Segundo Oliveira & Thung (1988) apud Magalhães (2004), o enxofre é componente da estrutura de alguns aminoácidos e participa do metabolismo de

vitaminas, além de constituir o grupo ativo de muitas enzimas implicadas no metabolismo e no catabolismo de carboidratos, gorduras e proteínas.

Metais Pesados

A importância de presença de metais pesados nos esgotos deve-se à potencialidade de sua acumulação no perfil do solo, à possibilidade de ocorrer a fototoxicidade, bem como ao risco de que os elementos venham a introduzir-se na cadeia alimentar humana, seja através do consumo de culturas ou animais com níveis de metais pesados, seja pelo uso de aquíferos contaminados (PAGANINI, 1997).

De forma geral, os metais pesados podem ser tóxicos a plantas e animais. Entretanto, a literatura especializada não relata casos de toxicidade crônica a esses organismos, em decorrência de disposição de esgotos no solo, em razão das baixas concentrações desses elementos na água residuária (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Segundo Bureau *et al.* (1987) os metais pesados normalmente não aparecem em águas residuárias, a menos que estas tenham a contribuição de resíduos industriais. Estudos realizados por estes autores, analisando as concentrações de cádmio, zinco, ferro, manganês, cobre, níquel, cobalto, cromo e chumbo, demonstraram que, durante todo o período do estudo, a concentração média de metais pesados na água residuária foi inferior ao máximo permitido para aplicação como água de irrigação.

As concentrações máximas dos principais elementos químicos nas águas utilizadas na irrigação são mostradas na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 - Concentração máxima de elementos químicos em águas para irrigação.

| Elemento | Conc. Máx. recomendada (mg/L) | Observação |
|-----------------|--------------------------------------|---|
| Alumínio | 5,0 | Pode causar improdutividade em solos ácidos (pH < 5,5), mas em solos mais alcalinos (pH > 5,5) precipitarão o íon e eliminarão qualquer toxicidade. |
| Arsênio | 0,10 | A toxicidade para plantas varia amplamente situando-se entre 12 mg/L para pastagem até 0,5 mg/L para arroz. |
| Cádmio | 0,010 | Tóxico para feijão, beterraba e, nabo em concentrações tão pequenas quanto 0,1 mg/L em solução nutriente. Limites conservativos são recomendados devido ao efeito cumulativo em plantas e no solo, para concentrações que possam ser nocivas aos humanos. |
| Cobalto | 0,050 | Tóxico para plantações de tomate em concentrações maiores que 0,1 mg/L em solução com nutrientes. Sua toxicidade tende a ser anulada em solos neutros ou alcalinos. |
| Cromo | 0,10 | Limites conservativos são recomendados devido à ausência de conhecimento de sua toxicidade em plantas. |
| Cobre | 0,20 | Tóxico para várias plantas em concentrações variando de 0,1 mg/L até 1,0 mg/L em solução nutriente. |
| Manganês | 0,20 | Tóxico para várias plantações a partir de pequenas concentrações, mas usualmente em solos ácidos. |
| Molibidênio | 0,010 | Pode ser tóxico para o gado se a forragem for plantada em solo com altos níveis de molibdênio. |
| Níquel | 0,20 | Tóxico para várias plantas em concentrações de 0,5 mg/L a 1,0 mg/L, tendo sua toxicidade reduzida para pH alcalino ou neutro. |
| Chumbo | 5,0 | Em altas concentrações pode inibir o crescimento de células vegetais. |
| Zinco | 2,0 | Tóxico para algumas plantas em várias concentrações; toxicidade reduzida para pH > 6,0 e em solos com fina textura ou considerados orgânicos. |

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991) *apud* Tsutiya (2001).

3.4.3.1 Problemas na qualidade da água de irrigação

Dependendo de sua qualidade, a água pode trazer problemas quando utilizada na irrigação. De acordo com Ayers e Westcot (1991), estes são:

- Salinidade

Os sais do solo e da água acumulados na zona das raízes reduzem a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam os seus rendimentos.

- Infiltração de água

Teores relativamente altos de sódio, ou baixos de cálcio no solo e água, reduzem a velocidade com que a água de irrigação atravessa a superfície do solo. Esta redução pode chegar a tal magnitude, que as raízes das plantas não recebam suficiente água entre as irrigações.

- Toxicidade de íons específicos

Certos íons (sódio, cloreto e boro) contidos no solo ou na água, acumulam-se nas plantas em concentrações suficientemente altas para causar danos e reduzir os rendimentos das culturas sensíveis.

Uma alta concentração de sódio na água de irrigação desencadeia o processo de substituição dos íons cálcio e magnésio pelo íon sódio; isto causa uma impermeabilização do solo impedindo a percolação da água e sua aeração. Esta característica da água relacionada à presença nociva ou não de sódio é medida pela Razão de Adsorção de Sódio – RAS, e está mais relacionada com o problema de infiltração de água. Segundo Bastos (2003), o cálcio contribui para a estabilidade dos agregados e para a estrutura do solo. O sódio provoca a dispersão de minerais de argila em partículas finas, o que pode causar a obstrução dos poros do solo. A argila dispersa pode ser movimentada descendentemente ao longo do perfil do solo num processo denominado *eluviação*. Este resulta no acúmulo de argila em profundidade, a qual passa a constituir uma camada de impedimento ao fluxo descendente da água de drenagem do solo.

O cloreto não é retido ou adsorvido pelas partículas do solo, através do qual se desloca facilmente com a água deste, porém é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. Este problema é mais intenso nas regiões de climas mais quentes, onde as condições ambientais favorecem uma alta transpiração. Dependendo do tipo de irrigação a ser utilizado, também pode ocorrer maior ou menor intensidade de absorção do cloreto. Caso sua concentração excede a tolerância da planta, podem causar uma redução das taxas de crescimento e produzir danos com seus sintomas característicos, como necrose e queimaduras nas folhas. A toxicidade mais freqüente é a provocada pelo cloreto contido na água de irrigação (AYERS e WESTCOT, 1991; MANCUSO e SANTOS, 2003; MORAIS *et al.*, 1998).

O boro é necessário em quantidades relativamente pequenas e se torna tóxico quando ultrapassa tais níveis. Para algumas culturas, por exemplo, se o nível essencial de boro na água é de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$, as concentrações entre 1 e 2 mg.L^{-1} são tóxicas. Os sintomas de toxicidade na maioria das culturas aparecem quando a concentração foliar de boro excede 250 a 300 mg.kg^{-1} de matéria seca. Aparecem, geralmente, como manchas amarelas ou secas, nas bordas ápices das folhas mais velhas (AYRES e WESTCOT, 1991).

- Outros problemas

Os excessos de nutrientes reduzem os rendimentos das culturas e/ou sua qualidade. As manchas nas frutas ou na folhagem prejudicam a comercialização dos produtos. A corrosão excessiva dos equipamentos, ocasionada por reações químicas e fatores físicos como velocidade, temperatura e pressão da água, aumenta os custos de manutenção e reparos.

As diretrizes para avaliar a qualidade da água para irrigação encontram-se na Tabela 3.7. Estas diretrizes são similares às preparadas pela Universidade da Califórnia em 1974 (University of California Committee of Consultants). O estado da Califórnia, Estados Unidos, foi o pioneiro na implantação de programas, critérios e diretrizes básicas para a aplicação de esgotos tratados em solos agrícolas.

TABELA 3.7 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação

| Problema Potencial | Unidades | Grau de Restrição para Uso | | |
|---------------------------------------|----------|----------------------------|--------------------|--------|
| | | Nenhuma | Ligeira e Moderada | Severa |
| Salinidade | | | | |
| CEa | dS / m | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |
| SDT | mg / L | < 450 | 450 – 2000 | > 2000 |
| Toxicidade de íons específicos | | | | |
| Cloreto (Cl⁻) | | | | |
| Irrigação por superfície | meq / L | < 4 | 4 - 10 | > 10 |
| Irrigação por aspersão | meq / L | < 3 | > 3 | |
| Boro (B) | | | | |
| | mg / L | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |
| Sódio (Na⁺) | | | | |
| Irrigação por superfície | RAS | < 3 | 3 - 9 | > 9 |
| Irrigação por aspersão | meq / L | < 3 | > 3 | - |

Fonte: AYRES & WESTCOT,1991. Legenda: CEa: Condutividade Eletrica da água; expressa em deciSiemens por metro (dS/m) a 25° C ou em milimhos/cm (mmhos/cm); SDT significa total de sais em solução, expressa em miligramas por litro (mg/L); RAS:Relação de Adsorção de Sódio.

3.4.4 Fertilidade do solo

As frações que compõem o solo podem ser agrupadas em sólidas, líquidas e gasosas. Na fração sólida encontram-se minerais de natureza distinta, de acordo com o material da rocha que lhe deu origem, matéria orgânica decorrente de restos vegetais e animais em diferentes estádos de decomposição, além de microrganismos responsáveis por toda atividade biológica, também denominada biomassa microbiana do solo. A fração sólida é grande fornecedora de elementos nutrientes de plantas, em que cerca de 97% a 98% da fração sólida do solo é de natureza mineral e de 2% a 3% é representada pela matéria orgânica (BASTOS, 2003).

Um constituinte que exerce papel fundamental na qualidade do solo é a matéria orgânica, na qual é constituída de organismos vivos, de seus resíduos e, principalmente, de seus produtos de decomposição (CAMPOS, 1999). No solo, mais

de 95% do nitrogênio total está na forma orgânica, geralmente protéica que, para fins práticos, não é assimilável pelas plantas. Muito do nitrogênio no solo vem da matéria orgânica, e um dos produtos da mineralização é o amônio, que pode ser retido pelo solo ou convertido em nitrato (MALAVOLTA, 1996 apud MAGALHÃES, 2004).

A presença de matéria orgânica no solo favorece a formação e estabilização de agregados (grânulos), com uma série de conseqüências benéficas, melhorando a estrutura e estabilidade do solo. Além destas, favorece as atividades microbianas, atuando como meio-suporte, e mantém os nutrientes para as plantas em circulação pela biodegradação. Entretanto, a matéria orgânica só é efetiva como condicionadora e fornecedora de nutrientes para as plantas quando se apresenta estabilizada (BASTOS, 2003).

O fósforo é encontrado no solo nas formas mineral e orgânica. Os solos brasileiros, de modo geral, são deficientes em fósforo (MALAVOLTA, 1972 apud MAGALHÃES, 2004). Já para o elemento potássio, a média de potássio solúvel e trocável nos solos brasileiros está compreendida entre 1 e 2%, mas muitos solos apresentam teores abaixo de 0,0005% (MAGALHÃES, 2004).

Entretanto, para que esses elementos sejam absorvidos pelas plantas, é necessário que sejam solubilizados na água do solo, a qual é denominada solução do solo. Esta ocupa os espaços vazios existentes entre os diversos agregados de solo. Neste, a fração gasosa não é homogênea, pois depende dos processos químicos e bioquímicos que transcorrem. Sua maior importância para a planta reside no fato de que a presença de oxigênio permite a respiração dos sistemas radiculares (BASTOS, 2003).

O pH é fundamental na definição do nível de fertilidade do solo, por interferir na solubilidade dos elementos minerais, na solubilidade de elementos potencialmente tóxicos e na atividade microbiana. Um solo com pH da água entre 5,5 e 8,0 é favorável ao crescimento de plantas (PAGANINI, 1997). Para Bastos (2003), o pH ótimo para o desenvolvimento da planta é próximo de 6,5.

Em resumo, o solo apresenta características como textura, estrutura, porosidade e propriedades físicas e químicas variáveis que, em conjunto, podem definir a sua fertilidade (BASTOS, 2003).

3.4.5 Salinização do solo

A presença de sais em excesso (salinidade), oriundos do próprio solo ou da água de irrigação, reduz a disponibilidade de água para as plantas, a tal ponto que afetam seus rendimentos. Teores relativamente altos de sódio, ou baixos de cálcio no solo e na água, reduzem a velocidade de infiltração da água de irrigação. Esta redução pode alcançar tal magnitude que as raízes das plantas não mais recebem suficientes quantidades de água, o que compromete o seu desenvolvimento e produtividade (NUVOLARI, 2003).

Sais são transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam à medida que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. Os sais que contribuem para criar problema de salinidade são solúveis e transportados facilmente na água, onde uma parte destes se acumula no solo devido a irrigações anteriores, e pode ser lixiviado tanto por meios naturais, por exemplo, precipitação seguida de infiltração, como através de meios artificiais. Assim, o processo de lixiviação ou lavagem de sais pode ser uma operação fundamental no controle dos problemas relacionados com a salinidade. Obviamente tal manejo é dependente principalmente da qualidade da água e da tolerância das culturas à salinidade (AYERS & WESTCOT, 1991).

Todos os problemas da água no solo dependem da relação entre infiltração e evaporação. Se a infiltração for maior, os solos são lixiviados, e acidificam-se com facilidade. Se a evaporação predomina, ocorre o contrário, acumulam-se sais na camada superior dos solos. Essa salinização é menor em solos arenosos, e muito maior em solos argilosos, que permitem ascensão de água muito mais intensamente.

Um efluente com tratamento secundário tem uma RAS (razão de adsorção de sódio), em geral de 2,7, onde somente ocorrem efeitos negativos de sódio na irrigação, para valores maiores de 10 (efeito médio), 18 (efeito negativo

alto) e 26 (muito alto) (MELO, 1978). Segundo Scaloppi e Baptistela, (1986), o valor crítico de RAS na solução do solo é aproximadamente 13 e o valor desejável é de 9.

Neilsen *et al.* (1989) verificaram que, após 4 anos de irrigação, o conteúdo de sódio nos primeiros 0,30 m de solo não era prejudicial às culturas. As maiores diferenças de produção entre os tratamentos ocorreram nos dois primeiros anos, mostrando que as diferenças diminuíam com o passar do tempo.

Em pesquisas realizadas com efluentes finais de sistemas de lagoas de estabilização no estado do Ceará, foram constatados riscos de salinização do solo de médio a muito alto, segundo classificação de Reichart (1978) (NOGUEIRA, 1999).

A qualidade dos esgotos, o método de irrigação, a salinidade do solo e a tolerância a esses sais pela vegetação a ser irrigada, são determinantes na produtividade da cultura (MANCUSO e SANTOS, 2003).

3.5 Aspectos sanitários e ambientais da utilização de esgotos domésticos tratados

Nas três últimas décadas, a irrigação com esgotos sanitários tornou-se uma prática crescente em todo o mundo, por vezes acompanhada de rígido controle sanitário, outras não, impondo sérios riscos à saúde. Portanto, uma avaliação dos riscos de saúde pública e ambiental da utilização de esgotos na irrigação, é fundamental para o fomento às “boas práticas” (DALTRO FILHO, 2004)

Os esgotos sanitários podem conter os mais variados microrganismos patogênicos, cujas concentrações típicas de alguns destes patógenos são mostradas na Tabela 3.8. Entretanto, muita controvérsia persiste na definição dos riscos aceitáveis, ou seja, no estabelecimento de um padrão de qualidade e do grau de tratamento que garantam a segurança sanitária (BASTOS, 2003).

TABELA 3.8 - Densidades usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários.

| Microrganismo | Densidade |
|---|----------------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | $10^6 - 10^8/100\text{mL}$ |
| <i>Salmonellae</i> spp. | $10^2 - 10^3/100\text{mL}$ |
| Cistos de <i>Giardia</i> sp. | $10^2-10^4/\text{L}$ |
| Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. | $10^1-10^2/\text{L}$ |
| Ovos de helmintos | $10^1 - 10^3/\text{L}$ |
| Vírus | $10^2 - 10^5/\text{L}$ |

Fonte: BASTOS, 2003.

A irrigação com esgotos sanitários podem contaminar o ar, os solos, as plantas e áreas vizinhas aos campos irrigados. A magnitude desta contaminação depende do tratamento das águas, condições climáticas predominantes, cultura irrigada e do próprio sistema de irrigação (NUVOLARI, 2003).

Para evitar que os organismos patogênicos sejam mantidos nos campos, os esgotos domésticos devem ser tratados com métodos eficientes antes de serem utilizados na irrigação, uma vez que, frente às condições de utilização desses esgotos na agricultura, os grupos expostos ao contágio, como trabalhadores rurais e os produtos agrícolas, poderão entrar em contato com microrganismos patogênicos.

Visando regulamentar alguns indicadores microbiológicos, a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 1989, publicou diretrizes sanitárias para o uso de esgotos na agricultura, baseando-se nas concentrações de ovos de helmintos e de coliformes fecais. A partir desses indicadores, a OMS enquadrou em três categorias (A,B,C) a variedade de culturas e os seus correspondentes meios de contato (Tabela 3.9), bem como o tratamento requerido.

TABELA 3.9 - Diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica de esgotos sanitários na agricultura.

| Categoria | Condições de Uso | Grupo exposto | Nematóides Intestinais (Ovos/L) | Coliformes Fecais (CF/100mL) | Tratamento Requerido |
|------------------|--|--|--|-------------------------------------|---|
| A | Culturas consumidas cruas, campos esportivos, jardins públicos | Trabalhadores, consumidores e público em geral | ≤ 1 | ≤ 1000 | Série de Lagoas de estabilização (ou tratamento equivalente) |
| B | Culturas de cereais, industriais e forrageiras, prados e árvores | Trabalhadores | ≤ 1 | Não se recomenda Nenhuma norma | Lagoas de estabilização por 8 a 10 dias (ou tratamento equivalente) |
| C | Categoria B, sem os trabalhadores e o público estarem expostos | Nenhum | Não se aplica | Não se aplica | Sedimentação Primária |

Fonte: adaptado de OMS (1989)

Na categoria A, enquadram-se às culturas consumidas cruas e também os campos esportivos e os jardins, onde o público pode ter contato direto com esgotos. Nesse caso, são feitas recomendações para utilização de esgoto tratado que apresentem até um ovo de nematóides intestinais (*Ascaris*, *Trichuris* e *Ancilostomas*), por litro; e coliformes fecais até 1000 NMP por 100mL da amostra analisada.

Na categoria B, incluem-se as culturas de cereais, as plantas forrageiras, as culturas industriais, os prados e as árvores frutíferas. Nesses casos, trabalhadores que manuseiam a água no processo de irrigação e efetuam as práticas culturais, provavelmente, podem ter contato com esgotos. A recomendação é de até um ovo de nematóides intestinais por litro. A irrigação deve cessar duas semanas antes da colheita. As frutas colhidas não devem ter contato com o solo.

Na categoria C, está incluída a B, no entanto sem os trabalhadores e o público estarem expostos diretamente. Para esse caso, a OMS não dispõe nenhuma recomendação.

Para Armon *et al.* (1994), a irrigação descontrolada de culturas com efluentes pode se tornar um dos principais problemas de saúde pública. Um estudo feito por estes autores, utilizando a irrigação por aspersão nas culturas de alface, couve, cebola, cenoura, rabanete e tomate, com dois tipos de efluentes, mostrou uma clara correlação entre a qualidade do efluente e o grau de contaminação nos vegetais irrigados com efluentes que continham alta concentração de coliformes fecais e *Salmonella spp.*

Direta ou indiretamente, a qualidade da água em projetos de irrigação pode fomentar a presença de vetores de doenças, principalmente em regiões onde existam riscos de enfermidades transmissíveis, nas seguintes formas:

- Criando condições que favoreçam a presença de água livre nos campos (em tempo e extensão);
- Exigindo o uso de métodos de irrigação que necessitem maior tempo de aplicação, ou maior área;
- Modificando a flora ou fauna aquática, e
- Influindo diretamente na composição das populações dos vetores.

Os problemas de infiltração derivados da qualidade da água ocasionam o prolongamento do tempo durante o qual as águas de irrigação e de chuva permanecem sobre o solo. Este prolongamento fomenta a proliferação de vetores e é, muitas vezes, suficiente para completar seu ciclo biológico (NUVOLARI, 2003).

Na cidade de Haroonabad, o esgoto urbano não tratado tem sido usado para irrigação há 35 anos. Em fevereiro de 2000, IWMI (International Water Management Institute) iniciou um estudo interdisciplinar nesta cidade focando na saúde, aspectos ambientais e socioeconômicos da irrigação com esgoto não tratado. O resultado do componente saúde mostrou uma alta prevalência de infecções por verminoses nos agricultores das fazendas com reúso quando comparado a um grupo de exposição semelhante utilizado como controle (ENSINK *et al.*, 2002).

No Brasil, o aspecto sanitário da água de irrigação está diretamente ligado a duas principais doenças: a esquistossomose e a verminose. A contaminação por esquistossomose ocorre, principalmente, com o agricultor irrigante que mantém contato com a água; a verminose, com os usuários, através de consumo de produtos irrigados em que a água de irrigação entre em contato direto com o produto consumido *in natura* (verduras) (NUVOLARI, 2003).

Alguns países dispõem de diretrizes e/ou normas para uso de efluentes na agricultura, como no caso do Peru, que dispõe de definições de riscos para irrigação em regiões áridas. De acordo com as definições de cultivo e restrições foram especificadas as categorias de cultivo:

- *Categoria A*: não destinadas ao consumo humano. São processados por calor ou dessecação antes do consumo humano (grãos oleaginosos). Hortaliças e frutas produzidas exclusivamente para processamento que destruam patógenos. Forrageiras ou outros para alimentação animal consumidos dessecados. Parques sem acesso ao público.
- *Categoria B*: Pastagens e forrageiras para consumo fresco. Cultivos para consumo humano que não tenham contato direto com o efluente. Cultivos cujos produtos são consumidos cozidos (ex: batata, berinjela, beterraba). Cultivos cujo os produtos são consumidos crus, sem casca (ex: banana, melão, melancia).

- *Categoria C*: todo cultivo para consumo humano, irrigado com efluentes, que habitualmente é consumido cru (ex: alface, tomate, cenoura ou fruta irrigada por aspersão antes da colheita).

Para cada categoria já especificada anteriormente, encontram-se as definições de riscos para saúde pública, apresentadas na Tabela 3.10.

TABELA 3.10 - Definições de riscos para a saúde pública, em função da qualidade dos efluentes tratados, utilizados na irrigação das diversas categorias de cultivos – Zonas áridas, em Lima no Peru.

| Especificações | Categorias de cultivos | | |
|--|------------------------|---------------|------|
| | A | B | C |
| Nível de risco quando se irriga com efluente de baixa qualidade | Baixo | Intermediário | Alto |
| Qualidade requerida do efluente para evitar riscos à saúde Pública | Baixa | Intermediária | Alta |

Fonte: Libhaber (1985) apud Nuvolari (2003)

Nos Estados Unidos, alguns critérios também foram criados para qualidades de água para reuso, elaborados pela USEPA (Environmental Protection Agency of United States), onde se relaciona o tipo de cultura com a qualidade do efluente.

O critério da USEPA exige para a irrigação irrestrita, ou irrigação por aspersão em qualquer situação, padrão microbiológico de qualidade de efluentes semelhante ao padrão de potabilidade da água (ausência de coliformes e organismos patogênicos, turbidez ≤ 2 UNT e cloro residual ≥ 1 mg/L). Depreende-se que o critério de ausência de coliformes asseguraria a ausência de bactérias patogênicas, enquanto a inclusão da turbidez e do cloro residual presta-se ao papel complementar da indicação da remoção de protozoário por filtração e da inativação dos vírus (BASTOS, 2003). Os critérios de qualidade recomendados pela USEPA, estão apresentados na Tabela 3.11.

TABELA 3.11 - Critérios de qualidade recomendados pela USEPA para reúso de águas residuárias na agricultura.

| Tipo de irrigação e cultura | Qualidade do efluente |
|--|--|
| Culturas alimentícias não processadas comercialmente, Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas | DBO \leq 10 mg/L (Limite 01) Coliformes fecais ND |
| Culturas alimentícias processadas comercialmente, Irrigação superficial de pomares e vinhedos | DBO a 30 mg/L (Limite 02) SS a 30 mg/L Coliformes fecais \leq 200 /100mL |
| Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite, forrageiras, cereais, fibras e grãos, Lagos paisagísticos, e Industrial para resfriamento sem recirculação, Reúso para melhoria ambiental | DBO \leq 30 mg/L (Limite 02) SS \leq 30 mg/L Coliformes fecais \leq 200 /100mL |
| Irrigação, campos de esporte, parques, jardins e cemitérios, Recreacional para enchimento de lagos de contato primário | DBO \leq 10 mg/L (Limite 01) Coliformes fecais ND |

Fonte: USEPA (1992).

Para irrigação restrita (culturas alimentícias processadas comercialmente e não alimentícias), exige-se também a desinfecção e a garantia de cloro residual \geq 1mg/L, e padrão bacteriológico, o que pressupõe a tolerância da presença de patógenos em alguma densidade. Obviamente, padrões com tais níveis de exigência somente podem ser contemplados por processos rigorosos de tratamento de esgotos, incluindo filtração e desinfecção (BASTOS, 2003).

3.6 Perspectivas de produção do biodiesel no Brasil

Desde o final do século XX, a demanda energética teve um crescimento notório para atender as necessidades da população mundial, devido ao desenvolvimento tanto em populações menos desenvolvidas, quanto nas mais desenvolvidas, onde buscam incessantemente novas fontes de energia renováveis ou não renováveis (SANTOS, 2004). Também é verdade que o crescimento da busca por fontes alternativas de energia é decorrência de previsões alarmantes

referentes à exaustão dos recursos petrolíferos mundiais. Após a primeira crise do petróleo, na década de 70, os países desenvolvidos, principalmente, aceleraram as suas pesquisas na obtenção de novas tecnologias (GOLDEMBERG, 2000).

Segundo Parente (2003), o Brasil se encontra como um país promissor para produção de todos os tipos de energia, destacando-se as energias renováveis do tipo solar, eólica e de biomassa. Tal cenário promissor é função principalmente da sua grande extensão territorial, clima tropical e grande variedade de recursos naturais disponíveis.

A biomassa é uma fonte alternativa de energia muito promissora como geração de renda para pequenos e grandes agricultores. Segundo Fernandes Filho (2004) apud Santos (2004), a biomassa pode ser encontrada na forma de alimentos, tanto como combustível direto (madeira, bagaço de cana, casca de babaçu etc.), quanto como combustível indireto, por meio de óleos vegetais ou gorduras animais (biodiesel) e álcoois (etílico e metílico convertidos da madeira, da cana de açúcar, do sorgo sacarino, mandioca etc). Como combustíveis oriundos da biomassa, o biodiesel e o álcool possuem a capacidade de substituir combustíveis fósseis, se apresentando como excelentes substitutos do óleo combustível e da gasolina, respectivamente (SANTOS, 2004).

Estudos divulgados pelo NBB – National Biodiesel Board, órgão responsável pela implementação do biodiesel nos Estados Unidos, afirmam categoricamente que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição de pelo menos 60% da demanda mundial atual de óleo diesel mineral (PARENTE 2003).

3.6.1 O biodiesel

Biodiesel pode ser produzido naturalmente, utilizando-se fontes renováveis tais como uma extensa variedade de óleos vegetais naturais, extraídos de algumas culturas oleaginosas (soja, canola, girassol, mamona, amendoim, gergelim, algodão, dendê, babaçu) e residuais (óleos de frituras, gorduras animais) (SANTOS, 2004).

O biodiesel é compatível com o combustível diesel do petróleo em condensação e ignição do motor, e em anos recentes, misturas de biodiesel e diesel de petróleo têm sido usadas sem nenhuma necessidade de modificação do motor. Em geral, as emissões são consideravelmente vantajosas em relação a seu peso molecular, monóxido de carbono e hidrocarbonetos (CARDONE *et. al.*, 2003).

Segundo Conceição *et al.* (2005), além, de alto poder calorífico, os óleos vegetais têm como principais vantagens: a falta de enxofre na composição química, o fato de que a produção industrial não gera substâncias prejudiciais para o ambiente e, também, o fato de que eles são produzidos de culturas vegetais que consomem dióxido de carbono durante a fotossíntese.

Do ponto de vista ambiental, o biodiesel é fundamental para redução das emissões de poluentes, contribuindo para diminuir, principalmente, a incidência de doenças respiratórias. Segundo Alves (2004), a substituição de diesel por biodiesel proporcionaria uma redução de custos com poluição no montante de R\$ 5,9 milhões a R\$ 191,9 milhões/ano, considerando seu uso somente nas 10 principais cidades brasileiras. Este valor poderia aumentar para até R\$ 872,8 milhões, se utilizado em todo território nacional. A Tabela 3.12, apresenta os custos de poluição evitados de acordo com as diversas percentagens de biodiesel adicionadas na mistura com óleo diesel.

TABELA 3.12 – Custos de poluição evitados com adição de diversas quantidades de biodiesel.

| % de uso do biodiesel | 10 principais cidades brasileiras | Brasil |
|------------------------------|--|---------------|
| 2% | 5,9 | 27,3 |
| 5% | 16,4 | 75,6 |
| 20% | 65,5 | 302,3 |
| 100% | 191,9 | 872,8 |

Fonte: Casa Civil (2003) apud Alves (2004)

Os primeiros ensaios de produção de biodiesel no Brasil foram realizados no estado do Ceará, em 1979, tendo sido lançado com o nome de PRODIESEL, no dia 30 de outubro de 1980. Na ocasião, participaram do lançamento representantes

dos governos federal e estadual e dos principais fabricantes de automóveis do país e outras autoridades (PARENTE, 2003). Com o intuito de agilizar a fabricação sistemática do novo combustível, foi criada, na cidade de Fortaleza, a empresa Produtora de Sistemas Energéticos Ltda (PROERG), que implantou uma unidade-piloto industrial com capacidade para produzir 200 litros por hora.

Além da mamona, foram utilizados como matérias-primas para a produção de biodiesel os óleos de soja, amendoim, algodão, girassol, dendê, maracujá, dentre outros (ALVES, 2004).

Na TABELA 3.13, apresentam-se as principais culturas com potencial de produção de Biodiesel no Brasil, com os respectivos teores de óleo, produtividade da cultura e produtividade do óleo. Observa-se que a mamona é a cultura que apresenta o maior rendimento de óleo, embora, em termos de rendimento por hectare, a babaçu apresente as melhores condições. Com relação à produtividade de óleo, o dendê é a cultura que apresenta a melhor condição. (ALVES, 2004)

TABELA 3.13 - Principais fontes produtoras de biodiesel no Brasil

| culturas | Teor de óleo (%) | Produtividade (kg/ha/ano) | Produtividade de óleo (kg/ha/ano) |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Mamona | 49 | 1.500 | 750 |
| Girassol | 42 | 1.600 | 672 |
| Amendoim | 39 | 1.800 | 702 |
| Gergelim | 39 | 1.000 | 390 |
| Canola | 38 | 1.800 | 684 |
| Dendê | 20 | 10.000 | 2.000 |
| Soja | 18 | 2.200 | 396 |
| Algodão | 15 | 1.800 | 270 |
| Babaçu | 4 | 15.000 | 600 |

Fonte: Petrobrás (2003) apud Alves (2004)

O Nordeste possui uma série de espécies xerófilas nativas, como os pinhões, Aleucena, e outras oleaginosas e leguminosas que poderiam ser incluídas como plantas produtoras de óleos vegetais para a produção de biodiesel. No

entanto, muitas pesquisas se fazem necessárias visando à inclusão de tais espécies vegetais no rol das atividades agrícolas regionais (PARENTE 2003).

O óleo de mamona apresenta diversas vantagens em relação aos outros óleos vegetais, quando se trata de produzir biodiesel na região do nordeste. Além disso, segundo Napoleão Beltrão, da EMBRAPA, o óleo de mamona é o melhor para produzir biodiesel, por ser o único solúvel em álcool e não necessitar de calor e do conseqüente gasto de energia que requerem outros óleos vegetais em sua transformação para combustível (SANTOS, 2004).

Especificamente, tendo como objetivo a produção de óleo, a ricinocultura parece constituir o verdadeiro caminho e vocação para o semi-árido, pelas razões que se seguem:

- A mamoneira se adapta muito bem ao clima e as condições de solos do semi-árido;
- Estudos realizados pelo CNPA – Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, da EMBRAPA, em Campina Grande, está disponibilizando cultivares que permitem altas produtividades (até 2.500kg de semente por hectare);
- A lavoura da mamona se presta para a agricultura familiar, podendo apresentar economia elevada.
- A torta resultante da extração do óleo de mamona se apresenta como adubo de excelência, encontrando aplicações ideais na fruticultura, olericultura e floricultura, atividades importantes e crescentes nos perímetro irrigados nordestinos.
- A lavoura de um hectare de mamona pode absorver até 8 toneladas de CO₂ da atmosfera, contribuindo de forma relevante para o combate do efeito estufa (PARENTE 2003).

3.6.2 O Programa brasileiro de biodiesel

O PROBIODIESEL foi lançado em 30 de outubro de 2002, pela Portaria 702 do Ministério da Ciência e Tecnologia. Esse programa tem por objetivos “desenvolver as tecnologias de produção e o mercado de consumo de biocombustíveis; estabelecer Rede Nacional de BIODIESEL, para congregar e harmonizar as ações de especialistas e entidades responsáveis pelo desenvolvimento deste setor da economia; desenvolver e homologar as especificações do novo combustível para o Brasil; e atestar a viabilidade e competitividade técnica, econômica, social e ambiental a partir da investigação em testes de laboratório, bancada e campo” (BRASIL, 2002)

O Ministério de Minas e Energia (MME) tem como meta, produzir até 2010, 1,5 milhão de toneladas de biodiesel e destiná-las ao mercado interno e à exportação. O objetivo principal desse programa é a redução da dependência externa do petróleo e a geração de emprego e renda no campo (BRASIL, 2003).

Existe uma proposta do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) de um projeto para incremento da produção de mamona, e de produção de biodiesel com este vegetal em todos os estados do Nordeste e Espírito Santo, o qual prevê o envolvimento de cinco ministérios. O projeto prevê que cada estado nordestino receberá incentivos para desenvolver uma área experimental de produção de sementes selecionadas de mamona com 450 hectares na altitude de 300 metros acima do nível do mar (ALVES, 2004).

Atualmente, no estado do Ceará, há uma proposta de Programa do Governo Estadual (Programa Combustível verde – biodiesel de Mamona), cuja meta é a implantação de 10 mil hectares de mamona consorciada com feijão em 69 municípios do Estado (IPECE, 2003).

No Estado de Alagoas, o INCRA vem Incentivando a introdução da cultura da mamona em assentamentos. A comercialização do produto será feita junto a uma usina baiana, a qual garantiu a compra de toda a safra produzida (INCRA, 2004). O Estado da Paraíba, que conta atualmente com 1000 hectares ocupados com a

cultura da mamona, começa a definir as estratégias de um programa denominado “Programa de Desenvolvimento da Mamona no estado da Paraíba”, que prevê ampliação desta área (ALVES, 2004).

Em termos potenciais, é fácil imaginar o panorama e os efeitos da ocupação com a lavoura de mamona: considerando, uma produção participativa familiar com média de 3 toneladas anuais de sementes de mamona, a safra global de mamona atingiria a 6 milhões de toneladas, capazes de gerar cerca de 3 bilhões de litros de biodiesel. O mais importante é que cada família poderia auferir uma renda extra anual superior a R\$ 1.500,00 (US\$ 500/ano), suficientes para uma vida digna, sem fome (PARENTE 2003).

3.7 A mamona

3.7.1 Aspectos agronômicos

A mamona (*Ricinus communis L.*) é uma euphorbiácea que, segundo a maioria dos autores clássicos, tem como centro de origem a Etiópia e regiões circunvizinhas na África Tropical. O início de sua domesticação parece ter ocorrido na Ásia menor. Os romanos acharam uma grande semelhança entre a semente de mamona e o carrapato chamado “ricinus”. O óleo extraído da semente era utilizado para fins medicinais (cosméticos, proteção da pele e laxativo) e como combustível para iluminação (TÁVORA, 1982).

No Brasil, a mamona é conhecida desde a era colonial, quando dela se extraía o óleo para lubrificar as engrenagens e os mancais dos inúmeros engenhos de cana (BELTRÃO, 2004). Conhece-se a mamona sob as denominações de mamoneira, rícino, carrapateira e palma-criste; na Inglaterra e Estados Unidos, pelo nome de "castor beans" e "castor seed" (TÁVORA, 1982)

A mamoneira é uma planta rústica, heliófila, resistente à seca, e encontrada em diversas regiões do Brasil. Seu principal produto, o óleo extraído das sementes, possui centenas de aplicações, como por exemplo: fabricação de

cosméticos, lubrificantes, aditivos de combustíveis aeroespaciais, indústria de plástico, prótese para ossos humanos, etc. (EMBRAPA, 2001 apud ARBULÚ, *et al.*, 2003).

A mamoneira ocorre em praticamente todos os países tropicais e subtropicais, tanto podendo ser silvestre ou cultivada. É uma espécie altamente heterogênea, com extensa variação no tamanho, forma e cor de plantas, bem como tamanho e cor de sementes, e a deiscência das cápsulas. As sementes da mamoneira são produzidas em racemos, ou cachos de cápsulas. As cápsulas são usualmente espinhosas e cada uma contém três sementes. As sementes são sarapintadas para a extensa variedade, mais com freqüência com tonalidades de castanho escuro cobrindo tons de castanho claro (KIRK *et al.*, 1979).

O caule da mamoneira é redondo, liso, nodoso e, às vezes, coberto de uma camada de cera. A haste principal, ou primária, cresce verticalmente, sem nenhuma ramificação, até o aparecimento da primeira inflorescência. O ramo lateral se desenvolve da axila da última folha, logo abaixo da inflorescência (WEISS, 1983).

A mamoneira cultivada é um arbusto, com um sistema radicular que se estende lateral e profundamente, e uma parte aérea ramificada, de coloração verde ou avermelhada, de acordo com a variedade. As folhas são lobadas com formas variadas (TÁVORA, 1982).

3.7.2 Cultivo da mamona

A mamoneira desenvolve-se e produz bem em vários tipos de solo, com exceção daqueles de textura muito argilosa, que apresentam deficiência de drenagem e com pH entre 5,8 e 6,5. Segundo Beltrão *et al.*(2003), a mamoneira desenvolve-se melhor quando cultivada em ambientes com temperatura média variando entre 20 e 30° C, com elevada insolação, e a umidade relativa do ar durante a maior parte do ciclo baixa, menor que 60%. E de acordo Amorim Neto *et al.* (2001), pluviosidades entre 600 e 700 mm proporcionam rendimentos superiores

a 1500 kg/ha, sendo viável economicamente em áreas onde a precipitação pluvial mínima esteja entre 400 e 500 mm.

O Nordeste apresenta regiões ideais para o seu cultivo. A maior exigência de água desta oleaginosa ocorre no início da fase vegetativa. Ela produz economicamente em áreas onde a precipitação pluvial mínima, até o início da floração, seja em torno de 400 mm (AZEVEDO e LIMA, 2001).

No Nordeste, recomenda-se o plantio logo no início das chuvas. A mamona apresenta ciclo muito longo (mínimo de 180 dias), portanto, quanto mais cedo o plantio, uma vez tenha início o período chuvoso, maior período ela disporá para se desenvolver com disponibilidade adequada de água no solo (TÁVORA, 1982).

A nutrição e a adubação mineral possuem grande influência no processo produtivo mas, se por um lado possibilita aumento de produtividade, por outro os custos financeiros com esta prática são elevados, fazendo-se necessário otimizar seu uso com a finalidade de se obter o maior rendimento com o menor custo possível (CARVALHO, 1998 apud SEVERINO *et al.*, 2005).

A mamoneira, tanto isolada quanto consorciada, é muito sensível à competição causada pelas plantas daninhas, sendo crítico o período que vai da emergência aos 70 dias do ciclo, tempo usual para início da formação de cachos. Neste período, deve-se manter o campo livre de plantas daninhas (BELTRÃO *et al.*, 2003).

No plantio manual, a mamoneira deverá ser desbastada com solo úmido quando a plântula alcançar de 10 a 12 cm de altura, aos 25-30 dias após o plantio. Recomenda-se deixar de uma a duas plantas por cova. O uso de sementes de boa qualidade pode evitar que se faça esta operação, reduzindo assim os custos de produção, e com pH entre 5,8 e 6,5 (EMATERCE, 1990).

Para a agricultura familiar no Nordeste recomenda-se o uso de cultivares de porte médio (1,7 a 2,0m) e de frutos semi-indeiscentes, como a BRS 149 Nordestina e a BRS 188 Paraguaçu, lançadas pela EMBRAPA em convênio com a

Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (EBDA). Estas cultivares são de boa rusticidade, resistentes à seca, e de boa capacidade de produção, com média de 1.400 kg/ha de baga em condições de cultivo de sequeiro (BELTRÃO, 2004)

A variedade BRS 149-Nordestina é recomendável para plantios inferiores a 50 hectares, com a colheita sendo procedida quando 2/3 dos frutos do cacho estiverem maduros ou secos, prolongando-se por mais 3 ou 4 repasses, em função da maturação progressiva dos cachos (AZEVEDO, 2001). Considerando o uso dessa cultivar, é possível produzir, em média, 1400 kg/ha de bagas de mamona, o equivalente a 631 litros de óleo/ha (BELTRÃO *et al.*, 2002).

De acordo com Beltrão *et al.* (2003), a colheita nas cultivares de frutos semi-indeiscentes deve ser iniciada quando 2/3 dos frutos estiverem secos, pois tais cultivares não caem no solo. Na colheita, os cachos devem ser cortados na base, depositados em cestas ou sacos e levados ao terreiro para secagem.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

A área experimental localiza-se em um terreno anexo à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Cidade de Aquiraz, na Região Metropolitana de Fortaleza, de propriedade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. O projeto desta área foi desenvolvido pela CAGECE e o Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O município de Aquiraz fica na porção nordeste do Estado do Ceará, Região Metropolitana de Fortaleza (**Figura 4.1**), estando situado a $-3^{\circ} 54' 05''$ S e $38^{\circ} 23' 28''$ W e com limites ao: Norte (Oceano Atlântico, Fortaleza e Eusébio); Sul (Horizonte, Cascavel e Pindoretama); Leste (Oceano Atlântico); Oeste (Eusébio, Itaitinga e Horizonte).

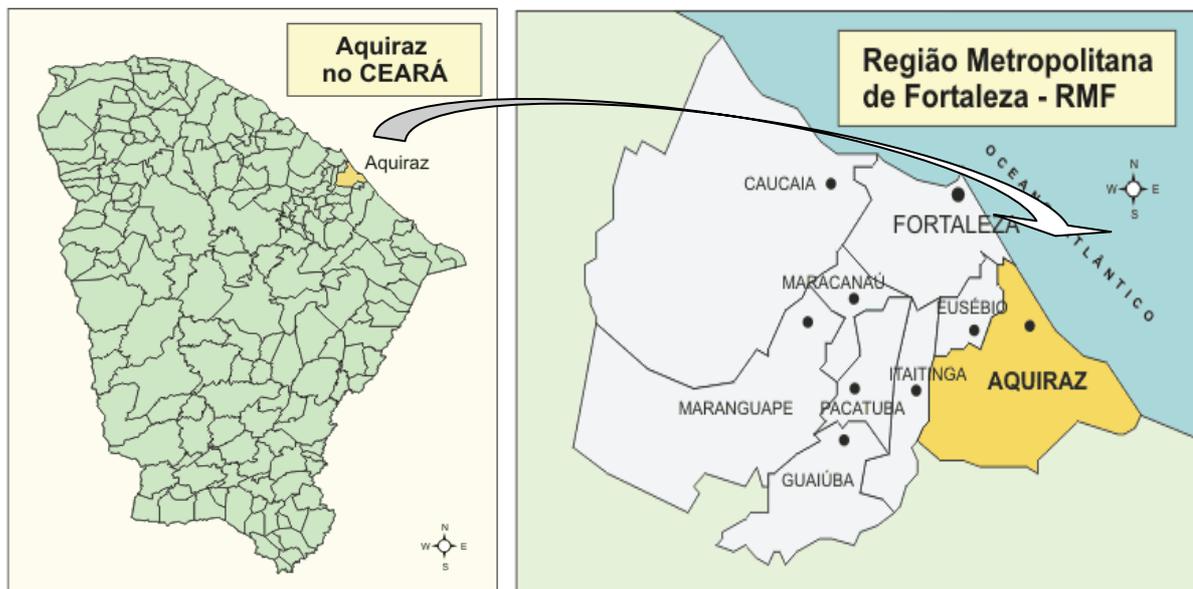


FIGURA 4.1 - Localização do município de Aquiraz, CE.

A população do Município de Aquiraz é de 60.469 habitantes (IBGE, 2000). O clima é razoavelmente homogêneo, sendo as pequenas oscilações relacionadas ao regime pluviométrico, aliás, bastante variável. Na região, ocorrem anos de chuvas excessivas e anos de precipitações escassas, com períodos de estiagem prolongada. A distribuição das chuvas durante o ano é muito irregular, onde cerca de 90% das precipitações ocorrem no primeiro semestre, sendo o

período de março a maio o mais chuvoso (ARAÚJO, 1999). A temperatura média anual varia de 26 a 28° C, com máximas em torno de 36° C.

4.2 - Estação de tratamento de esgoto

O sistema de esgotamento sanitário de Aquiraz foi implantado recentemente. Os esgotos são tipicamente domésticos, sendo a ETE composta de tratamento preliminar com gradeamento, caixa de areia e medidor de vazão, e tratamento secundário consistindo de quatro lagoas em série (1 lagoa anaeróbia, 1 lagoa facultativa e 2 lagoas de maturação) (Figura 4.2). O sistema tem as seguintes características de projeto:

Características do projeto da ETE de Aquiraz

- População..... 37.978 habitantes
- Vazão..... 103,4 L/s
- Área total..... 34,7 ha
- Bacias contribuintes..... 04
- Numero de elevatórias..... 04
- Emissário efluente da ETE..... 4.640m



FIGURA 4.2 - Vista das lagoas de estabilização, Aquiraz, CE, 2005.

O tratamento secundário foi dividido em dois sistemas paralelos de lagoas de estabilização, sendo que atualmente apenas um sistema está sendo operado. Os esgotos tratados utilizados no experimento foram captados na lagoa de maturação 2, recalcados para um tanque com capacidade total de 10.000 L, a partir do qual se irrigavam a área experimental através de outra estação de bombeamento. O sistema de captação de água e esgoto está mostrado na Figura 4.3.



FIGURA 4.3 - Sistema de captação de água (esquerda) e esgoto da ETE (direita), Aquiraz, CE, 2005.

A água e o esgoto tratado eram bombeados para dois reservatórios de fibra de vidro com capacidade de 10 m³, cada unidade (figuras 4.4). Foram adicionados dois filtros de disco antes da entrada do reservatório que armazena a água, para evitar entupimento dos sistemas emissores (gotejadores e microaspersores) de irrigação devido à alta concentração de sólidos.



FIGURA 4.4 - Casa de bombas e reservatório (esquerda) e os filtros instalados (direita), Aquiraz, CE, 2005.

4.3 Área experimental

A área experimental era de aproximadamente 1.500 m², a qual foi inserida no projeto do Centro de Pesquisa sobre Tratamento de esgotos e Reúso de Águas. Neste centro foram desenvolvidas diferentes pesquisas sobre o uso de esgoto tratado na agricultura e piscicultura. A Figura 4.5 mostra um croqui da área experimental e a distribuição espacial das culturas, bem como métodos de irrigação.

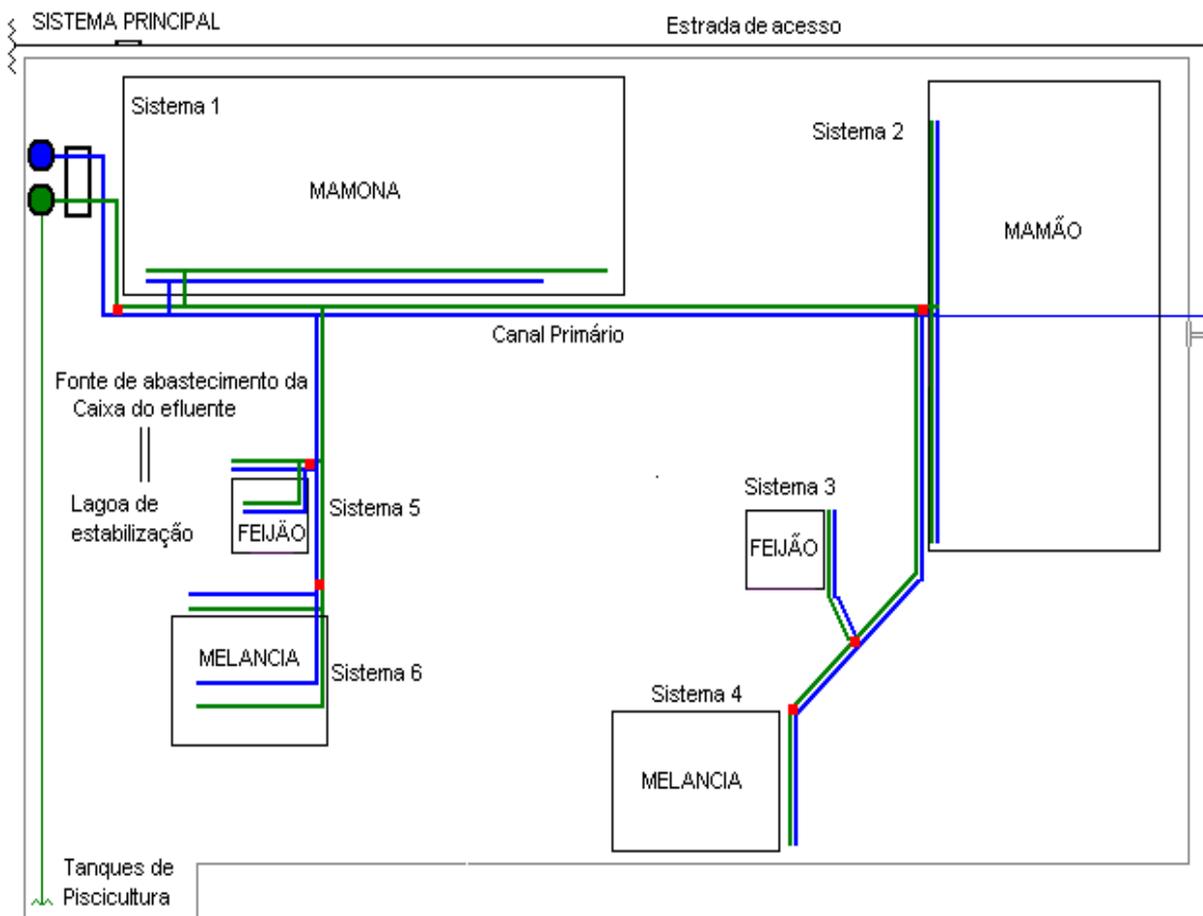


FIGURA 4.5 - Croqui da área experimental e a distribuição espacial das culturas, e sistemas de irrigação, Aquiraz, CE, 2005.

A área de plantio, de aproximadamente 1.500 m², (25,5 m x 59 m) foi subdividida em quatro blocos medindo 308m² (11 m x 28 m), com espaçamento entre eles de 3 m e 3,5 m. Cada bloco continha 10 linhas de plantio com 6 plantas, onde em cada duas linhas de plantio, um tratamento era aplicado, sendo uma população total de 240 plantas na área (Figura 4.6).

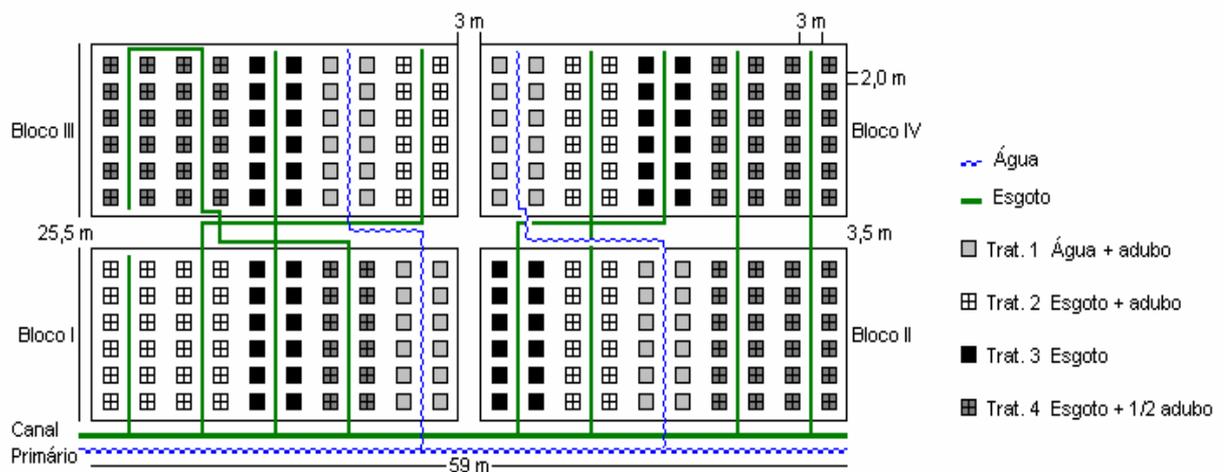


FIGURA 4.6 - Distribuição esquemática dos tratamentos utilizados na pesquisa. Aquiraz, CE, 2005.

4.3.1 Tratamentos aplicados

Foram estudados quatro tratamentos: irrigação com água bruta e adubação do solo recomendada (T1); irrigação com esgoto tratado e adubação do solo recomendada (T2); irrigação com esgoto tratado sem adubação (T3); e irrigação com esgoto tratado e a metade da adubação recomendada (T4).

A Figura 4.6 mostra a distribuição espacial esquemática dos quatro tratamentos utilizados na pesquisa.

4.3.2 Solo da área de estudo

O estudo das características físico-químicas do solo foi realizado em dezembro de 2004, antes do plantio, e depois do cultivo da mamona, em setembro de 2005.

No caso da área em estudo, uma subdivisão não foi efetuada, devido à homogeneidade do solo. As sub-amostras foram retiradas da camada arável (0-20 cm de profundidade), coletadas em ziguezague em pontos distanciados 15 passos um do outro, e acondicionadas num recipiente plástico limpo (balde de 5 litros) para posterior composição da amostra. Tal amostragem nesta profundidade vem sendo

normalmente adotada em sistemas de cultivo convencional, onde o preparo do solo para a semeadura consiste numa aração seguida de duas gradagens.

A composição ideal da amostra se deu pelo quarteamento do material, ou seja, misturando-se bem as sub-amostras, seguido do espalhamento do material e dividido em 8 partes. Descartaram-se duas porções de solo de cada lado, localizadas frente a frente, mas não avizinhas (Figura 4.7). O material restante foi novamente misturado, repetindo-se o mesmo procedimento anteriormente descrito, até que se obteve a quantidade de amostra desejada. Para a análise de nutrientes, uma quantidade de 300-500 g de solo foi suficiente. Em seguida, a amostra composta foi transferida para um saco plástico limpo e devidamente identificada.

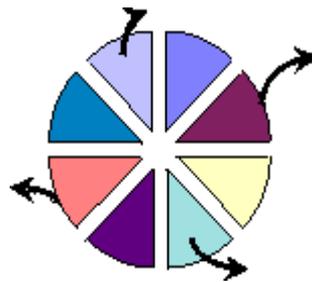


FIGURA 4.7 - Quarteamento do material do solo e descarte de porções.

Após a coleta, as amostras de solo foram devidamente identificadas e enviadas para o Laboratório de Solos do Departamento de Ciências dos Solos da Universidade Federal do Ceará (UFC), para posterior análise. Os parâmetros analisados visaram dar informações sobre o teor de nutrientes do solo, assim indicando sua fertilidade (cálcio, magnésio, sódio, potássio, pH, condutividade elétrica, alumínio, carbono, nitrogênio e fósforo assimilável). Nessa análise, obtiveram-se informações sobre a composição granulométrica, densidade do solo e partículas, e grau de floculação.

Realizou-se levantamento pedológico da área adjacente à estação de tratamento de esgoto, tendo o solo sido classificado como PE- Podzólico vermelho-amarelo eutrófico A, fraca textura arenosa, média fase caatinga hiperxerófila relevo

plano. Em termos de classes de terra para irrigação, classificam-se como terras de Classe 3 (arável)- 3 s. vqy, com textura do horizonte superficial leve, areia franca, passando para franco arenoso em profundidade.

Correção do solo

Diante dos dados da análise de solo, houve necessidade de correção de pH (calagem do solo). Esta correção foi iniciada no dia 15/10/2004, tendo sua conclusão ocorrida em 28/10/04. Utilizou-se o calcário dolomítico (uma tonelada por hectare) juntamente com matéria orgânica (cinco toneladas por hectare), devido o solo ser de textura arenosa, havendo fácil lixiviação do corretivo. Após a aplicação do corretivo, cada área foi corrigida manualmente durante cinco dias e ficou em repouso durante um mês com a finalidade de se obter uma total reação do corretivo com o solo. Passado esse período foi realizada uma amostragem, no dia 18/01/05, para a monitoração do pH. Por uma segunda análise do solo, constatou-se a necessidade de uma nova correção, que foi iniciada para a ocasião do plantio.

Adubação

Ao solo foi incorporada matéria orgânica (estrupe), um mês antes do plantio, para sua agregação. A adubação foi realizada no dia 24 de janeiro de 2005, dia do plantio, e as de cobertura, 30, 60 e 90 dias após o plantio. Com posse dos resultados das análises de fertilidade do solo e os dados de exigências da cultura, foi aplicada a formulação para (N-P-K) de (10-28-20), respectivamente, sendo 150 g por planta para adubação completa e 75 g por planta para o tratamento com metade da adubação. Com fonte de micronutrientes, foi selecionado o produto FTE BR 12, sendo aplicada uma quantidade de 20 g por planta para todos os tratamentos. A adubação de cobertura foi feita com sulfato de amônio e sulfato de potássio, sendo 50 g de cada por planta para adubação completa e 25 g por planta para metade da adubação.

4.3.3 Irrigação

A área cultivada com mamona foi irrigada por microaspersão, sistema selecionado principalmente com o objetivo de minimizar o risco de contaminação do irrigante, das plantas e frutos.

A linha lateral foi constituída de tubos de polietileno e a linha principal e de derivação constituída de PVC da marca Tigre ®. Os comprimentos das linhas lateral, de derivação e principal foram de 30 m, 60 m e 10 m, respectivamente. Os espaçamentos dos microaspersores foram de 2 m, sendo um total de 6 microaspersores por linha lateral. A linha de distribuição foi no sentido do menor comprimento da área (Figura 4.6). Os microaspersores tinham uma vazão de 88 L/h, sendo que o tempo real de irrigação por turno de rega de um dia, era de aproximadamente 1 hora e 22 minutos.

Avaliação do sistema de irrigação

Foi avaliado o sistema de irrigação por microaspersão, tanto para o esgoto tratado quanto para a água bruta. A determinação da uniformidade de aplicação de água seguiu o método proposto por Keller e Karmeli (BERNARDO, 1982), onde é recomendada a obtenção das vazões em quatro pontos ao longo da linha lateral. A uniformidade foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{CUD} = \frac{\text{média de } \frac{1}{4} \text{ das vazões, com menores valores}}{\text{Média de todas as vazões}} \times 100$$

4.4 Seleção e restrição da cultura

A cultura empregada no projeto seria destinada à indústria. Assim, tal prática não ofereceria riscos à saúde, devido não ser destinada diretamente ao consumo humano. Outras características, também favoreceram a seleção da cultura, destacando-se:

- O programa brasileiro de biodiesel, que, através da mamona, pretende suprir a demanda de diesel importado no Brasil, plantando 14 milhões de hectares de mamona (destaque principal);
- Planta oleaginosa, que possui várias aplicações como: fabricação de cosméticos, aditivos, lubrificantes, plásticos, próteses para ossos humanos, etc;

- De fácil adaptação, resistente à seca e medianamente resistente à salinidade;
- Possui alto porte, e quando desenvolvida, não permite contato do efluente com os frutos.

4.5 Cultivo da mamona

Usou-se a cultivar de mamona BRS 149 nordestina, a qual foi desenvolvida pela Embrapa em convênio com a EBDA.

4.5.1 Plantio

O plantio foi realizado no dia 24 de janeiro de 2005, juntamente com a adubação. As covas foram abertas com profundidade média de 5 cm, e o espaçamento adotado foi o de 2 m entre covas e 3 m entre fileiras. Distribuíram-se duas sementes por cova. E no dia 03 de março de 2005 foi realizado um replantio.

4.5.2 Desbaste

Após 20 dias da germinação, efetuou-se o desbaste das plantas menos desenvolvidas e defeituosas, deixando-se apenas uma planta por cova.

4.5.3 Fenologia

A altura das plantas foi, de início, medida semanalmente até a floração, sendo posteriormente medida mensalmente. As medidas foram feitas usando-se uma fita métrica, com precisão de 0,1 centímetro. A espessura do caule foi obtida com a utilização de um paquímetro, e os dados de número das folhas e nós do caule foram obtidos por contagem. A contagem das folhas foi realizada até quatro semanas após a germinação.

4.5.4 Colheita, Beneficiamento, Armazenagem

A colheita foi realizada após três meses a floração e realizada a cada 15 dias, sendo 7 colheitas no total. Os cachos eram colhidos e separados por tratamentos e blocos, e depois expostos ao sol. Após a secagem, os frutos foram

contados e as sementes extraídas. As sementes foram ensacadas, pesadas e armazenadas em condições naturais e temperatura ambiente.

4.5.5 Componentes de Produção

Número de racemos

Colheram-se os racemos maduros e efetuou-se a contagem manual.

Quantidade de frutos

Os frutos eram retirados dos racemos e expostos ao sol. A contagem foi realizada manualmente e separada por bloco e tratamento (Figura 4.8).



FIGURA 4.8 - Frutos da mamona, Aquiraz, CE, 2005.

Tamanho dos racemos

Os racemos foram medidos com fita métrica após a retirada dos frutos, procedimento realizado para todos os tratamentos e blocos (Figura 4.9).



FIGURA 4.9 - Medição do racemo da mamona, Aquiraz, CE, 2005.

Peso de 100 sementes

Após a secagem completa dos frutos, se procedeu a retirada das sementes. Para cada tratamento, foi realizada uma amostragem de 100 sementes, e posterior pesagem em balança com precisão de 0,01 grama.

Produtividade

Os cálculos da produtividade foram expressos em Kg/m^2 .

4.6 Procedimento Estatístico

4.6.1 Tratamentos estatísticos

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em arranjo 4x2 (4 tratamentos x 2 tipos de água), com quatro repetições.

4.6.2 Análise estatística

Os dados agronômicos de desenvolvimento da planta (altura da planta, número de folhas, espessura do caule) e componentes de produção (número de racemos, quantidade de frutos, peso de 100 sementes, tamanho de racemo e produtividade) foram submetidos à análise de variância, sendo as médias

comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade. Para a análise da altura da planta, utilizou-se o modelo de regressão não linear.

4.7 Análise Laboratorial

Durante o experimento, as características físico-químicas e microbiológicas das águas de poço e residuárias foram monitoradas semanalmente, e depois quinzenalmente.

Para as análises físico-químicas e de metais, as amostras da água bruta foram coletadas junto à torneira das caixas de distribuição, local onde eram armazenadas. Foram utilizadas garrafas de polietileno tipo PET com capacidade de 2 litros, as quais eram limpas e lavadas com água destilada. Algumas das análises eram realizadas em campo (OD, temperatura, pH, condutividade elétrica). Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento da UFC (LABOSAN). Já para a análise dos metais, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Química Analítica da UFC.

4.7.1 Parâmetros microbiológicos

- Na determinação de **Coliformes totais e termotolerantes** utilizou-se o Método Cromogênico Colilert – IDEXX; utilizando estufa de cultura modelo olidef cz.
- Na determinação de **Escherichia coli**, utilizou-se o Método Cromogênico Colilert – IDEXX; utilizando estufa de cultura modelo olidef cz .
- Os **ovos de Helmintos** foram contados através do método Bailanger Modificado, utilizando microscópio STUDAR lab para contagem.

4.7.2 Parâmetros físico-químicos

- As variáveis **Condutividade e Temperatura** foram medidas em campo com auxílio de um condutivímetro portátil da marca Analion, modelo C 702.
- O **pH** foi determinado através de um mini pH-metro da marca Analion, modelo PM 602.
- A determinação de **Oxigênio Dissolvido – OD** foi realizada em campo utilizando-se um oxímetro da marca Hexis, modelo 55 YSI.
- Para a determinação da **Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO₅** utilizou-se o teste tradicional baseado na diferença entre o valor do OD inicial e do OD final da amostra incubada durante cinco dias a 20°C. A amostra era incubada em frasco padrão de volume, sendo aferido e diluído adequadamente com água aerada (saturada com oxigênio dissolvido) e enriquecida com soluções de sulfato de magnésio, cloreto de cálcio, cloreto férrico e tampão fosfato. Para o cálculo do resultado final, foram considerados os volumes do frasco, diluição da amostra e consumo de oxigênio da água de diluição (branco).
- A **Demanda Química de Oxigênio – DQO** baseou-se segundo o princípio de que a maior parte da matéria orgânica é oxidada quando aquecida em presença de misturas de ácidos sulfúrico e crômico. O método adotado foi o colorimétrico com dicromato de potássio, utilizando espectrofotômetro de marca HACH, modelo DR/2000.
- A **Amônia** foi analisada pelo método de destilação, onde a amostra foi tamponada a pH 9.5 com um tampão de borato para diminuir a hidrólise de cianatos e compostos nitrogenados orgânicos e destilada numa solução de ácido bórico e titulada com H₂SO₄.
- A análise de **Fósforo Total** foi realizada com a amostra integral, utilizando o método colorimétrico do ácido ascórbico, onde a amostra é submetida ao

processo de digestão com persulfato de amônio e ácido sulfúrico 11 N, por 30 minutos, em autoclave. Após a digestão, foi feito ajuste de pH e, o fósforo então liberado, submetido à análise pelo método colorimétrico, em espectrofotômetro de marca HACH, modelo DR/200.

- A medição da **Alcalinidade Total** foi feita pelo método potenciométrico, utilizando-se pHmetro, marca MICRONAL, modelo B374.
- A análise de **Nitrato** foi realizada pelo método colorimétrico de salicilato de Sódio, onde a amostra foi alcalinizada e evaporada em banho-maria com salicilato de sódio. A leitura foi realizada com a amostra acidificada e com hidróxido de sódio e tartarato duplo de Na e K, em espectrofotômetro de marca HACH, modelo DR/2000.
- Os **Sólidos Suspensos** foram determinados gravimetricamente, através da pesagem do material retido no filtro de vidro AP20, 47 mm de diâmetro, marca MILIPORE. As pesagens foram efetuadas em balança de 0,01 g – marca marte, modelo AS 200.
- Os parâmetros **Dureza, Cálcio e Magnésio** foram determinados através de titulação com EDTA. Como indicadores, foram utilizados o Negro de Eriocromo-T, para a análise de dureza, e Murexida, para o cálcio. O magnésio foi obtido por diferenças de valores encontrados para dureza.

4.7.3 Metais Pesados

Os elementos totais Al, Cd, Sr, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Cu foram analisados na água e no esgoto coletados nos dias 02 de fevereiro de 2005 e 28 de abril de 2005. Esses elementos foram avaliados no Laboratório de Estudos em Química Aplicada do Departamento de Química Analítica e Físico-química da UFC.

A técnica empregada para a determinação desses elementos foi emissão atômica (Perkin Elmer, modelo Optima 4300). As condições instrumentais foram as

seguintes: potência da fonte de radiofrequência = 1350 W, fluxo do nebulizador = 0,8 L min⁻¹, fluxo do gás auxiliar = 15 L min⁻¹, fluxo do gás do plasma = 1,8 L min⁻¹, fluxo do gás da amostra = 0,8 L min⁻¹ e posição do detector = Axial.

4.7.4 Extração do óleo

Extração a quente

O teor de lipídios foi determinado para cada tratamento, utilizando-se o método Soxhlet da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), segundo o qual ±200 g de sementes trituradas foram colocadas em cartucho de papel de filtro, no sistema montado para a extração (Figura 4.10). Com o aquecimento e volatilização de 1200 ml de solvente hexano e posterior condensamento e circulação através da amostra, ocorre o carregamento do material que nele se solubiliza. O hexano foi destilado e coletado em um rota-evaporador de marca BÜCHI modelo waterbath B-480 (Figura 4.11). O lipídio remanescente foi pesado e os resultados expressos em percentagem. O tempo utilizado para extração foi de seis horas.

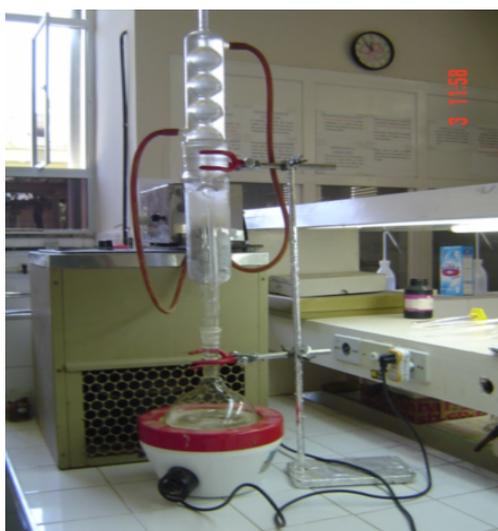


FIGURA 4.10 - Sistema de extração de óleo Soxhlet

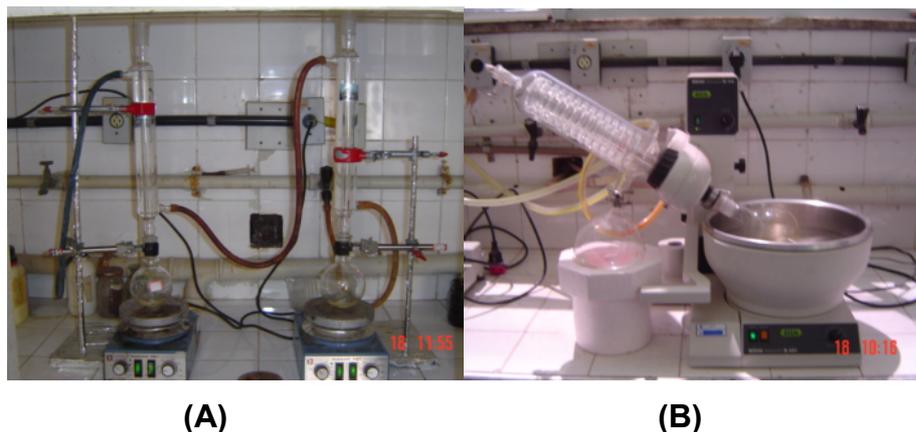


FIGURA 4.11 - Sistema de refluxo para obtenção de ésteres metílicos (A) e aparelho rota- evaporador para remoção do solvente (B).

Extração a frio

Em um erlenmeyer, colocou-se ± 200 g de sementes moídas em 350 ml de solvente hexano em repouso por 48 horas. Após o tempo recorrido de extração, o extrato foi filtrado com funil e algodão. O solvente hexano foi removido e coletado da mesma forma da extração a quente (Figura 4.12).



FIGURA 4.12 - Extração a frio do óleo da mamona.

Insaponificável

Utilizou-se a metodologia descrita por Hortman e Lago (1973). Em um sistema de refluxo montado (Figura 4.11), aproximadamente 1 g de óleo foi misturado com 1 g de KOH e 16 mL de metanol, por 2 horas. O insaponificável foi separado através de funil de separação com hexano e água. O cálculo foi expresso em porcentagem de insaponificável.

Ésteres Metílicos

O método utilizado foi o descrito por Hortman e Lago (1973), para esterificação dos ácidos graxos em ésteres metílicos. Após a separação do insaponificável, os sais de ácidos graxos obtidos foram acidificados, e separados com funil de separação da fase aquosa. A fase orgânica obtida, ou seja, os ácidos livres, foram para o refluxo por mais 1 hora, com solução de 10% de HCl e metanol. Os ésteres metílicos obtidos foram concentrados após a evaporação do solvente, sendo todos os resultados expressos em percentagem. A Figura 4.11 mostra o sistema montado para obtenção de ésteres metílicos.

Óleo fixo

Após a reação de obtenção dos ésteres metílicos, em uma coluna filtrante foram separados em frações os ésteres metílicos e detectados por cromatografia planar, através de placas eluídas em clorofórmio e, em seguida, reveladas. As frações detectadas na cromatografia planar, foram unidas e pesadas. O óleo fixo foi calculado em gramas, a partir da percentagem de ésteres metílicos obtidos sobre o teor de óleo resultante de cada extração efetuada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise das águas de irrigação

5.1.1 Análise microbiológica

A análise microbiológica da água de irrigação e do efluente tratado foi monitorada de janeiro a agosto de 2005, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 - Características microbiológicas da água e do efluente utilizado na irrigação da cultura da mamona, Aquiraz, CE, 2004.

| Parâmetros | Tipo | n | média | dp | Mín | máx | c.v(%) |
|--------------------------------------|--------|----|---------|---------|---------|---------|--------|
| Colif. Totais (UFC/100L) | Água | 18 | 5,5E+03 | 9,0E+03 | 6,0E+02 | 3,2E+04 | 0,93 |
| | Esgoto | 8 | 4,2E+04 | 5,6E+05 | 2,8E+03 | 1,6E+06 | 2,32 |
| E. coli (NMP/100mL) | Água | 18 | 2,6E+02 | 5,2E+02 | 4,0E+01 | 2,3E+03 | 1,21 |
| | Esgoto | 18 | 7,6E+02 | 9,9E+04 | 4,0E+01 | 4,2E+05 | 3,71 |
| Ovos de Helmintos (Ovos/L) | Água | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Esgoto | 16 | 0,4 | 1 | 0 | 3 | 2 |

Legenda: n: numero de amostras; dp: desvio padrão; c.v: coeficiente de variações.

De acordo com os resultados obtidos, observaram-se baixos valores de patógenos, tanto os coliformes fecais como ovos de helmintos. O grupo de coliformes totais inclui pelo menos três espécies, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, sendo que as duas últimas indicam cepas de origem não fecal. Por esse motivo, a presença de coliformes fecais é menos representativa, como contaminação fecal, do que a enumeração direta de *E. coli*, porém, muito mais representativa, como indicadora de contaminação fecal, que a presença de coliformes totais, dada a alta incidência de *E. coli* dentro do grupo fecal (SILVA *et al.* 2001). Pelo menos 90% dos coliformes fecais é representado pela *E. coli*, sendo reconhecidamente o melhor indicador de contaminação fecal conhecido até o momento.

Conforme diretrizes da Organização Mundial de Saúde (1995), na correta classificação para a cultura da mamona (categoria B), não existe restrição para os valores de coliformes fecais, conforme apresentado na Tabela 3.9. Tal norma somente se restringe ao número de ovos de helmintos (média geométrica), os quais devem ser menores do que 1. Assim, ambas as águas de irrigação (água bruta e esgoto tratado) se enquadram perfeitamente nas restrições da OMS. Ainda mais, os valores de coliformes fecais e ovos de helmintos estão quase no limite para irrigação irrestrita.

De acordo com os critérios da Tabela 3.10, que trata dos níveis de risco a saúde pública em função da qualidade dos efluentes tratados, utilizados na irrigação das diversas categorias de cultivos para zonas áridas em Lima – Peru, observou-se que a cultura da mamona se enquadrou na categoria A, e que apresentou um nível de risco baixo para a saúde pública.

Realizando-se um comparativo de *E. coli* ou coliformes totais encontrados no esgoto tratado ao padrão de coliformes fecais dos critérios de qualidade de reúso recomendados pela USEPA, para culturas não alimentícias (Tabela 3.11), observou-se que, apesar de ser baixa a quantidade de coliformes totais, ainda se encontra bem superior ao padrão da USEPA. E para *E.coli*, que é o melhor indicador de contaminação fecal, observou-se que ultrapassou os 200 NMP/100 mL, mesmo com um valor 100 vezes menor que para coliformes totais. Apesar da qualidade do efluente estar fora dos padrões da USEPA, não se pode determinar que o efluente não possa ser utilizado na irrigação da mamona, devido, os critérios da USEPA serem muito rígidos, e considerando as diretrizes da OMS, não há restrição, quanto aos coliformes, para culturas não alimentícias. Segundo Sandri (2003), estudos realizados em várias partes de mundo, mostraram que os riscos à saúde associados ao uso de água residuária são mínimos e que determinados padrões de restrição relativos a bactérias, muitas vezes, são muito restritivos.

Segundo Crook (1991) apud Santiago (1999), o melhor método de tratamento de esgotos quando o efluente é destinado à irrigação é composto por lagoas de estabilização, pois estas produzem um efluente com uma excelente qualidade microbiológica, sem muitos gastos, onde a saúde dos trabalhadores e da população em geral, que utilizam ou consomem produtos irrigados com efluentes gerados, não é afetada.

Com relação aos possíveis riscos ao agricultor, os frutos da mamona não entram em contato direto com o esgoto tratado, devido o sistema de microaspersão somente irrigar a área inferior à planta, ou seja uma região junto ao pé da planta, a região das raízes. O efluente só oferece um risco mínimo ao agricultor no momento da irrigação (NUVOLARI, 2003), quando pode ocorrer formação de aerossóis com a ação dos ventos, os quais somente se encontrariam próximos ao solo, podendo ser controlado pelo uso de botas e equipamentos de proteção como óculos e roupa de proteção (FEIGIN, 1991 apud SANTIAGO, 1999).

Portanto, a mamona irrigada no presente experimento com o efluente tratado em lagoas de estabilização, indicou não oferecer riscos de contaminação direta ao agricultor, devido à cultura não ser alimentícia e seu manuseio só ocorrer durante o período da colheita.

5.1.2 Análise físico-química

Os resultados das análises físico-químicas do efluente e da água, utilizados na irrigação da mamona, são apresentados na Tabela 5.2.

TABELA 5.2 - Características físico-química da água e do efluente utilizados na irrigação da cultura da mamona. Aquiraz, CE, 2005.

| Parâmetro | Ponto | N | média | d.p. | mín | Máx | c.v |
|---|--------------|----------|--------------|-------------|------------|------------|------------|
| pH | Água | 19 | 6,8 | 1,0 | 5,4 | 9,7 | 0,15 |
| | Esgoto | 19 | 8,2 | 1,0 | 7,2 | 10,2 | 0,12 |
| Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) | Água | 19 | 236 | 55 | 162 | 344 | 0,23 |
| | Esgoto | 19 | 751 | 120 | 533 | 944 | 0,16 |
| Sódio (mg/L) | Água | 6 | 34,6 | 26,4 | 16,1 | 87,4 | 0,76 |
| | Esgoto | 6 | 88,7 | 17,0 | 66,7 | 117,3 | 0,19 |
| Cálcio (mg/L) | Água | 14 | 5,5 | 3,2 | 2,8 | 13,6 | 0,57 |
| | Esgoto | 14 | 16,1 | 8,8 | 5,6 | 32,4 | 0,55 |
| Magnésio (mg/L) | Água | 14 | 8,1 | 4,4 | 2,9 | 18,0 | 0,54 |
| | Esgoto | 14 | 15,4 | 6,8 | 4,4 | 28,2 | 0,44 |
| Alcalinidade (mg CaCO_3/L) | Água | 19 | 27 | 16 | 13 | 80 | 0,58 |
| | Esgoto | 19 | 138 | 18 | 117 | 193 | 0,13 |
| Cloretos (mg/L) | Água | 19 | 40 | 12 | 17 | 74 | 0,30 |
| | Esgoto | 12 | 67 | 31 | 31 | 128 | 0,47 |
| DBO (mg O_2/L) | Água | 11 | 17 | 8 | 9 | 34 | 0,48 |
| | Esgoto | 11 | 60 | 27 | 31 | 128 | 0,45 |
| DQO total (mg O_2/L) | Água | 18 | 44 | 25 | 5 | 97 | 0,58 |
| | Esgoto | 18 | 146 | 51 | 85 | 307 | 0,35 |
| DQO filtrada (mg O_2/L) | Água | 16 | 12 | 8 | 1 | 28 | 0,65 |
| | Esgoto | 18 | 71 | 34 | 28 | 183 | 0,47 |
| SST (mg/L) | Água | 17 | 15 | 11 | 4 | 41 | 0,76 |
| | Esgoto | 17 | 66 | 21 | 26 | 101 | 0,31 |
| Amônia (mg NH_3/L) | Água | 16 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 0,69 |
| | Esgoto | 16 | 5,3 | 4,2 | 0,1 | 12,3 | 0,80 |
| Fósforo (mg P/L) | Água | 17 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| | Esgoto | 20 | 3,4 | 1,2 | 0,4 | 5,5 | 0,36 |

Legenda: n: numero de amostras; dp: desvio padrão; c.v: coeficiente de variação.

Os valores do pH da água utilizada na irrigação foram inferiores ao do esgoto tratado, como pode ser observado na Tabela 5.2. O valor máximo obtido na água foi de 9,7 e o mínimo de 5,4. Em relação ao pH do esgoto, o máximo foi de 10,2 e mínimo de 7,2; tais variações estão relacionadas com a atividade da fotossíntese, principalmente nos meses de maior insolação. Foi observada também, uma redução dos valores de pH no período chuvoso.

O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente. No caso das águas de irrigação, o pH normal deve situar-se entre 6,5 e 8,4. As águas com pH anormal podem criar desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos (AYERS e WESTCOT, 1991). Bastos (2003) também classifica os valores entre 6,5 e 8,4 como dentro dos limites de normalidade. A Resolução N° 357/2005 do CONAMA estabelece como valores de pH para irrigação irrestrita a faixa de 6,0 a 9,0, no caso de utilização de águas doces, e entre 6,5 e 8,5, no caso de águas salobras.

As médias de pH obtidas para esgoto e água foram 8,2 e 6,8, respectivamente. Assim, ambas as águas de irrigação possuem o pH dentro da faixa citada na literatura, sugerindo que tal água não causaria nenhum efeito prejudicial no solo irrigado ou nas culturas, apesar dos picos máximos e mínimos obtidos.

Ressalta-se que, em algumas amostras, os valores de pH ($> 8,3$) do esgoto apresentaram alcalinidade devido a carbonato e bicarbonato, porém, na maioria foi devido somente a bicarbonato. A presença desses íons pode precipitar o Ca^{+2} , aumentando o efeito do Na^{+} na solução do solo, reduzindo, assim, sua permeabilidade (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A Figura 5.1 (ver Tabela A.1 em anexos) mostra as concentrações de cátions e ânions nas águas de irrigação utilizadas. Para a água bruta, os valores obtidos foram 38,5 mg/L (cátions) e 66,0 mg/L (ânions), ao passo que o efluente apresentou valores de 135,6 mg/L (cátions) e 215,4 mg/L (ânions).

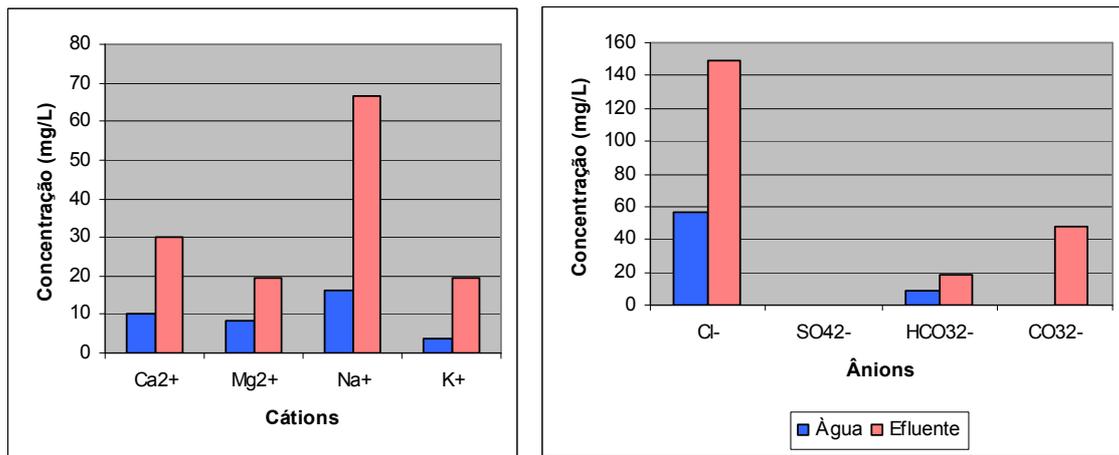


FIGURA 5.1 - Concentrações de cátions e ânions na água e no efluente utilizados na irrigação, Aquiraz, CE, 2005.

A condutividade elétrica constitui um bom indicador da quantidade total de sais na água. O seu grau de importância nas águas de irrigação está relacionado à correlação entre condutividade e quantidade de sais, em que o acúmulo destes no solo tem efeitos na diminuição dos rendimentos da cultura (AYRES e WESTCOT, 1991). Os sais do solo e da água acumulados na zona das raízes reduzem a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam os seus rendimentos.

Observa-se, na Tabela 5.2, que a condutividade elétrica apresentou valores máximos de 944 e 344 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mínimo de 533 e 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para o esgoto e a água, respectivamente. Comparando-se a média de 751 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 236 $\mu\text{S}/\text{cm}$ do efluente e da água, respectivamente, com os valores mostrados na Tabela 3.7, que dispõe sobre as diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação, conclui-se que o efluente tem classificação ligeiramente moderada quanto ao risco de salinização do solo e a água sem nenhuma restrição de uso. Para Reichardt (1990), o risco de salinidade é baixo quando a condutividade for $< 750 \mu\text{S}/\text{cm}$ e médio quando variar de 750 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

O cálcio e o magnésio contribuem para diminuir a RAS da água de irrigação e, conseqüentemente, amenizam os efeitos nocivos do sódio. Rahman & Rowell (1979) *apud* Ayers e Westcot (1991) e Bastos (2003) afirmam ainda que, os

Resultados e discussões

efeitos potenciais do sódio são ligeiramente maiores quando na água da irrigação a proporção Ca/Mg é menor que a unidade. Isto quer dizer que determinado valor de RAS é ligeiramente mais perigoso quando a proporção Ca/Mg é menor que um e que, quanto mais baixa for esta proporção, maior será o perigo dessa RAS. Além do mais, as pesquisas mostram que com determinado valor de RAS da água de irrigação, obter-se-ão valores de PST (Percentual de Sódio Trocável) no solo além do normal, quando a proporção Ca/Mg da água aplicada é menor que a unidade.

A partir das médias das análises de Ca^{+2} e Mg^{+2} das águas de irrigação, observou-se que a proporção para água natural foi que apresentou a proporção abaixo de 1, assim podendo contribuir para aumentar o RAS. Ressalta-se que devido à baixa vazão do riacho foi necessária a captação de água subterrânea de um poço raso, podendo ter contribuído para o aumento de Mg, e subsequente diminuição da proporção. Ainda que não esteja definitivamente comprovado, pode-se inferir que as águas de irrigação com excesso de magnésio ($\text{Ca/Mg} < 1$) podem produzir sintomas de deficiência nas plantas, caso não haja no solo suficiente cálcio para contrabalançar seus efeitos (AYERS e WESTCOT, 1991). Já, para a proporção do efluente, ficou acima de 1, não contribuindo para o aumento do RAS, tendo sempre um valor de Ca superior ao de Mg.

E de grande importância da relação entre os cátions Na, Ca e Mg para a avaliação da qualidade da água. A razão de adsorção de sódio (RAS), leva em conta os supracitados cátions. Na pesquisa, foram encontrados valores de 5,4 e 3,1 para RAS, respectivamente, para o efluente e a água de irrigação. De acordo com Ayres e Westcot (1991), RAS variando de 0-15 são normais em águas de irrigação. E para Melo (1978), o RAS somente têm efeito negativo na irrigação quando o valor for maior que 10.

Os estudos realizados por Neilsen *et al.* (1989) verificaram, que após 4 anos de irrigação com efluente, o conteúdo de sódio nos primeiros 0,30 m de solo não foi prejudicial às culturas. E observou-se também, na camada de 0,15-0,30 m do solo, que as concentrações de sódio foram maiores onde se aplicou efluente. No entanto, apesar da condutividade elétrica não ter sido afetada, o longo tempo de uso

de efluentes vai requerer monitoramento do balanço de cátions no solo, restringindo a solubilidade de muitos micronutrientes.

Como se observa na Tabela 5.2, os níveis de cloretos ficaram, em média, de 40 e 67 mg.L⁻¹ para a água e o esgoto tratado, respectivamente. Estes valores encontram-se bem abaixo das concentrações máximas para restrições de cultivos que são adotadas no Peru, sendo que para culturas sensíveis o máximo recomendado é de 210 mg Cl⁻/L (NUVOLARI, 2003). De acordo com USEPA (1999) e Crook (1993) *apud* Mancuso e Santos (2003), teores de 99 mg.L⁻¹ de cloretos na água de irrigação não acarretam nenhum efeito prejudicial. Acima de 99 mg.L⁻¹ podem causar algumas deficiências nas culturas, enquanto que teores acima de 351 mg.L⁻¹, podem acarretar problemas graves.

Observando a Tabela 3.7, que dispõe sobre as diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação, verifica-se que para uma irrigação por aspersão, objeto do estudo, um valor de 1,88 mmol/L (67 mg/L) de cloretos classifica o efluente sem nenhuma restrição para uso. Segundo Ayers e Westcot (1991), a absorção do cloreto pelas culturas irrigadas depende não somente da qualidade da água, como também da capacidade da planta de excluí-lo, e do seu conteúdo no solo, o qual se controla com a lixiviação.

A DBO média mostrada na Tabela 5.2, para esgoto e água, respectivamente, foi de 60 e 17 mgO₂.L⁻¹. Confrontando tais valores com as normas da USEPA (Tabela 3.10), o efluente não se enquadrava para irrigação de culturas não alimentícias, porém, como se percebe, as normas exigidas por este órgão, não podem ser aplicadas a determinados cultivos, devido ao alto grau de exigência, dificultando e encarecendo a prática, por necessitar de mais etapas no tratamento do efluente. Confrontando o valor encontrado com os padrões de irrigação de forragem, em Israel, que exige 60 mg.L⁻¹ de DBO, e da China, que utiliza 80 mg.L⁻¹ para irrigação de arroz e vegetais (CHANG, 1996 *apud* SANTIAGO, 1999), nota-se que o valor encontra-se dentro dos padrões. No efluente utilizado no experimento, a DBO alcançou valores próximos ao de outros sistemas, como de lagoas de estabilização. No caso do SIDI - Sistema do Distrito Industrial em Maracanaú – CE, o

valor de DBO para a lagoa facultativa, é de 60 mg.L⁻¹, variando de 37 a 25 mg.L⁻¹ para as três lagoas de maturação (SANTIAGO, 1999).

Pela Tabela 5.2, pode-se observar a média de sólidos suspensos totais de 11 mg.L⁻¹ e 60 mg.L⁻¹ para água e o efluente, respectivamente. A presença de sólidos suspensos representa desvantagens na estabilização da matéria orgânica, pela produção de gases e pela obstrução dos poros do solo, promovendo a impermeabilização (PAGANINI, 1997), no uso de efluentes com alto conteúdo orgânico. O mais importante risco associado é a obstrução dos orifícios nos sistemas de irrigação, sendo que na presente investigação não se verificaram sérios problemas de entupimento dos microaspersores. Tem-se registro na literatura de problemas causados em sistemas de irrigação por gotejamento em efluentes da cidade de As-Samra (Jordânia) com concentrações de SS de 100-200 mg.L⁻¹ (NAKSHALANDI *et al.*, 1991, apud SANTIAGO, 1999).

De acordo com os parâmetros físico-químicos encontrados para o esgoto tratado, observa-se uma significativa variação na DQO não filtrada e sólidos suspensos (Tabela 5.2). Isto é decorrente da não uniformidade do esgoto bruto, devido às chuvas que diluíam o esgoto, e da variação das cargas orgânicas afluentes à ETE.

A concentração de amônia no efluente e na água foi 5,3 e 0,2 mg.L⁻¹, respectivamente (Tabela 5.2). Percebe-se que o efluente se encontra um pouco acima de valores normais em águas de irrigação segundo Ayres & Westcot (1991), sendo de 0 - 5 mg/L para amônia. Apesar da concentração do efluente se encontrar um pouco acima dos valores normais, isto de certa forma era esperado, uma vez que se tratam de esgotos domésticos, onde as bactérias convertem as proteínas e a uréia presentes, em amônia, sendo esta transformada em nitritos e nitratos, no fenômeno da nitrificação (PAGANINI, 1997). No entanto, esta pequena variação da faixa normal não traz prejuízos à cultura. O Nitrato é a forma mais comum nas águas de irrigação, enquanto que o nitrogênio na forma de amônio é raramente superior a 1 mg.L⁻¹, a menos que contenham águas residuais. As águas residuais contêm níveis altos de nitrogênio, entre 10 e 50 mg.L⁻¹, particularmente as que provêm de uso doméstico.

Apesar da importância sanitária e agronômica do nitrato, não se apresentam seus valores na caracterização das águas de irrigação utilizadas, em virtude de as concentrações estarem inferiores a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que os valores normais para água de irrigação variam de $0 - 10 \text{ mg.L}^{-1}$ de nitrato.

Para o fósforo, somente o efluente apresentou valores detectáveis pelos métodos analíticos empregados, em média, de $3,4 \text{ mg.L}^{-1}$. Ayres e Westcot (1991) relatam que os valores de fósforo em águas de irrigação se situam na faixa de $0-2 \text{ mg.L}^{-1}$. Este valor, bem acima desta faixa, é comum em se tratando de águas residuárias, por se tratar de águas residuárias, típicos esgotos domésticos que apresentam elevadas taxas de fósforo, devido à presença de detergentes e alimentos. A quantidade de fósforo contida no efluente é favorável para a nutrição da planta e promove uma fertirrigação.

Neilsen *et al.* (1989) observaram, que a irrigação por gotejo do tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão com efluente resultou em diminuição de zinco, aumento de fósforo e resultados variáveis para os outros nutrientes estudados. O teor de nitrogênio não teve muita regularidade entre as amostras analisadas, não sendo afetado pelo tipo de água, enquanto que o fósforo apresentou aumento da concentração devido à presença de derivados de detergentes nos efluentes utilizados.

Em relação aos metais analisados, não foram detectados nas amostras de água os elementos Cu, Zn, Pb e Cd e, no esgoto, Mn, Zn, Pb e Cd. Segundo Vale *et. al* (2005), os metais pesados presentes nos efluentes de lagoas de estabilização que tratam esgoto doméstico são provenientes da própria água, dissolução de metais de tubulações, poeiras, poluição e das atividades humanas, tais como materiais de limpeza, higiene pessoal, produtos de beleza, sujeira presente nas roupas, inseticidas, etc.

A Tabela 5.3 apresenta as concentrações e desvio padrão dos metais pesados analisados.

TABELA 5.3 - Concentrações de metais pesados e desvio padrão na água e no esgoto tratado, Aquiraz, CE, 2005.

| Elemento | Água (mg/L) | DP | Esgoto (mg/L) | DP |
|-----------------|------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| Cu | < LD | - | 0,001 | 0,0005 |
| Ni | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,0032 |
| Sr | 0,006 | 0,0014 | 0,014 | 0,0007 |
| Mn | 0,001 | 0,00 | < LD | - |
| Zn | < LD | - | < LD | - |
| Al | 0,084 | 0,0245 | 0,192 | 0,2556 |
| Pb | < LD | - | < LD | - |
| Cd | < LD | - | < LD | - |
| Fe | 0,124 | 0,0012 | 0,008 | 0,0009 |

Legenda: DP: desvio padrão; LD: não detectado.

De acordo as concentrações máximas de elementos químicos de água para irrigação (Tabela 3.6), todos os elementos analisados mantiveram-se dentro dos padrões permitidos. Normalmente, os esgotos domésticos não contêm metais pesados em concentração que possam prejudicar as plantas (PEARSON, 1986 *apud* ANDRADE NETO, 1992). E esgotos domésticos tratados por sistema de lagoas de estabilização, geralmente oferecem efluentes com baixo teor de metais pesados.

Assim, como estudos realizados por Vale (2005), demonstraram que os efluentes de quatro sistemas de lagoas de estabilização da Grande Natal (RN), possuíam concentrações de metais pesados bem abaixo dos limites da legislação vigente do país (CONAMA nº 357/2005), em termos de lançamento de efluentes em corpos de água.

5.2 Fenologia da planta

Após a segunda colheita, observou-se uma mudança na cor do caule de algumas plantas, que de verde passaram para roxo. A cultivar Nordestina BRS 149 apresenta caule verde, porte médio, frutos semi-indescentes, racemo cônico com tamanho médio entre 30 e 35 cm, e produtividade média de 1500 kg/ha (Beltrão, 2004). A Figura 5.2 mostra a coloração do caule das duas cultivares. A mudança de coloração de caule, provavelmente, ocorreu devido a fatores genéticos em interação com fatores ambientais.

Segundo Beltrão (2004), a mamona é fotoperiódica, de dias longos, tem grande variabilidade de expressão sexual, mais de sete tipos, é sensível à nebulosidade e a outros fatores da atmosfera, além do peso genético na definição do sexo e sua expressão.



FIGURA 5.2 - Cultivar de caule roxo (esquerda) e a cultivar BRS 149 Nordestina (direita).

Na Figura 5.3, são mostrados os percentuais obtidos na área experimental da cultivar Nordestina BRS 149 e da sua “variante” (denominada de caule roxo). Como se pode perceber, o maior percentual se concentrou na cultivar de caule roxo. Apesar disto, somente foi avaliada a cultivar Nordestina BRS 149, por se tratar de uma cultivar definida.

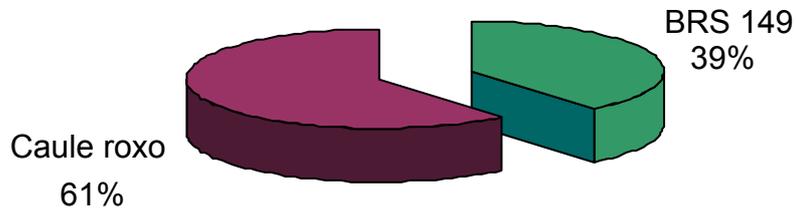


FIGURA 5.3 - Percentual de mamona cultivar nordestina BRS 149 e de caule roxo, Aquiraz, CE, 2005.

Adicionalmente, realizou-se um comparativo de produtividade dos dois tipos de cultivares com dados obtidos nos meses de junho e julho. A Figura 5.4 mostra os dados de produtividade nos diferentes tratamentos testados.

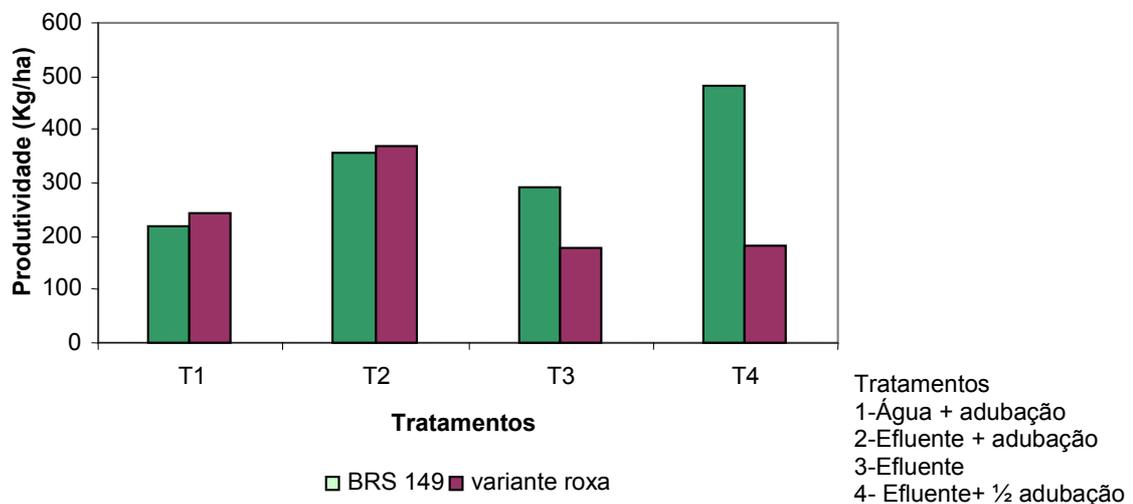


FIGURA 5.4 - Produtividade (kg/ha) da cultivar Nordestina BRS 149 e de caule roxo, nos diferentes tratamentos testados, Aquiraz, CE, 2005.

Observou-se que a cultivar Nordestina BRS 149 apresentou maior produtividade no Tratamento T4 e o variante de caule roxo no Tratamento T2, ficando bem próximo da produtividade do cultivar verde. Entretanto, nenhuma correlação com o tipo de água de irrigação ou tipo de tratamento pode ser verificada.

5.2.1 Desenvolvimento da Mamona

Após 60 dias do plantio, houve ataque de pragas. Então, foram utilizados inseticidas (abamectiv, Bt e imidadoprid) para o controle dessas pragas. A Figura 5.5, mostra as folhas da mamoneira com o ataque das pragas.



FIGURA 5.5 - Folhas da mamona atacadas por pragas. Aquiraz, CE, 2005.

A Lagarta preta das folhas (*Spodoptera latifascia*) foi observada na mamona do experimento. É um inseto extremamente nocivo à mamoneira que ataca as folhas. As mariposas (adultos), medem cerca de 40 mm de envergadura e são de coloração parda, e as lagartas (Figura 5.7 A) chegam a medir de 40 a 50 mm, com coloração de pardo a preto azulado (BELTRÃO, 2003).

Tanbém ocorreram ácaros (Rajado: *Tetranychus urticae*) e (vermelho: *Tetranychus ludeni*), que são artrópodes de oito patas, às vezes confundidos com insetos e que são muito nocivos à cultura da mamona. São minúsculos, com menos de 0,4 mm de comprimento, e quase invisíveis a olho nu. São habitualmente encontrados na face inferior das folhas, onde suga a seiva das plantas, provocando o amarelecimento e posterior bronzeamento (BELTRÃO, 2003). Na Figura 5.6 B, tem-se uma folha de mamona atacada por ácaro.



FIGURA 5.6 – Folhas da mamona atacadas pela lagarta preta (esquerda) e ácaros rajados ou vermelhos (direita), Aquiraz, CE, 2005.

As pragas encontradas no experimento são comuns na mamoneira, porém, pode-se supor que a irrigação com esgotos tratados pode ter contribuído para o aparecimento destas pragas. Como se sabe, os esgotos domésticos contêm carga de DBO elevada e, com isso, podem contribuir para a proliferação de bactérias e algas (dependendo do tratamento aplicado), depositando-se no solo e em partes da planta no ato da irrigação, podendo tornar a cultura mais vulnerável a algumas pragas e doenças.

De acordo com Goewie e Duqqah (2002), muitos nutrientes produzidos na terra tornam culturas vulneráveis a doenças e pragas, com destaque para o nitrogênio e potássio. Plantas ricas destes dois elementos efetuam sítios de síntese protéica ineficiente em suas células presentes nas folhas, assim produzindo consideráveis concentrações de ácidos aminos livres. Chaboussou (1974) demonstrou que tecidos celulares ricos em ácidos aminos livres são mais atrativos por microrganismos. Estes processos tornam-se mais estimulados quando os solos têm elevadas concentrações de cálcio. Assim, torna-se necessária à aplicação de considerável quantidade de pesticida sintético (GOEWIE, 2002).

5.2.2 Altura da planta

O comprimento ou altura pode ser uma medida indicadora do crescimento de uma planta. Pode-se medir o comprimento de folhas, entrenós, altura de planta,

etc. A grande vantagem desta unidade é que a planta pode ser mantida viva. (FERRIR, 1979 apud SANDRI, 2003).

A altura da planta foi monitorada durante seis semanas a partir de 51 dias decorridos da sementeira, com dados de uma planta selecionada por bloco. As Figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10, mostram o comportamento da altura da planta com relação a cada tratamento aplicado.

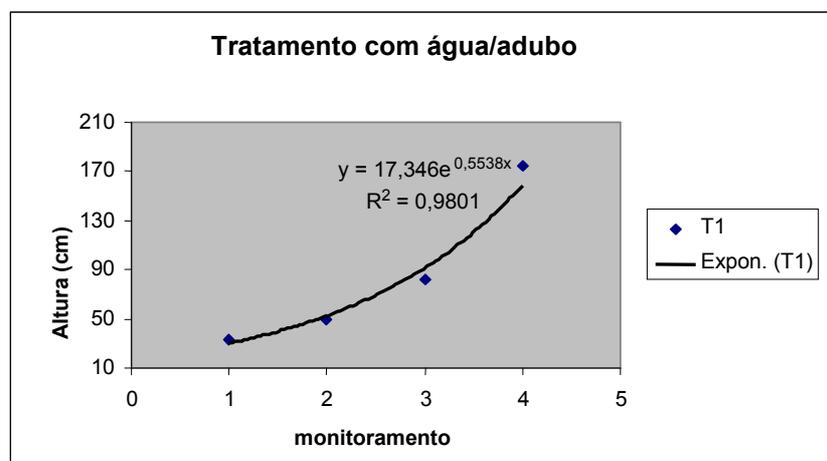


FIGURA 5.7 – Comportamento da altura média das plantas no tratamento com água e adubação recomendada (T1), Aquiraz, CE, 2005.

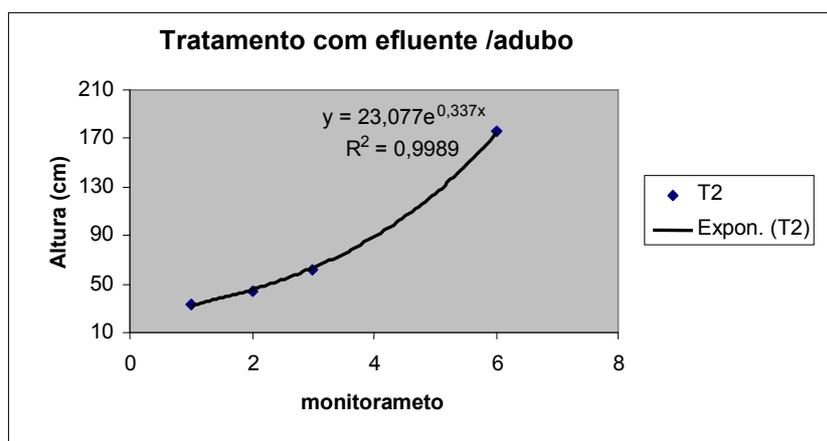


FIGURA 5.8 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com água e adubação recomendada (T2), Aquiraz, CE, 2005.

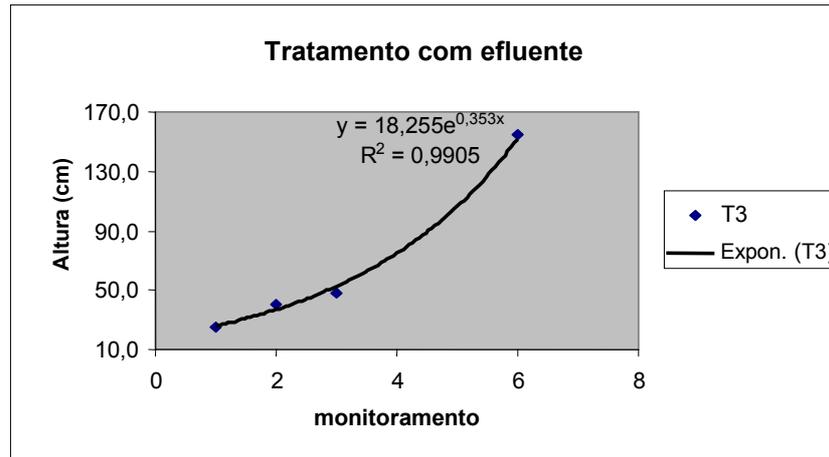


FIGURA 5.9 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com esgoto tratado (T3), Aquiraz, CE, 2005.

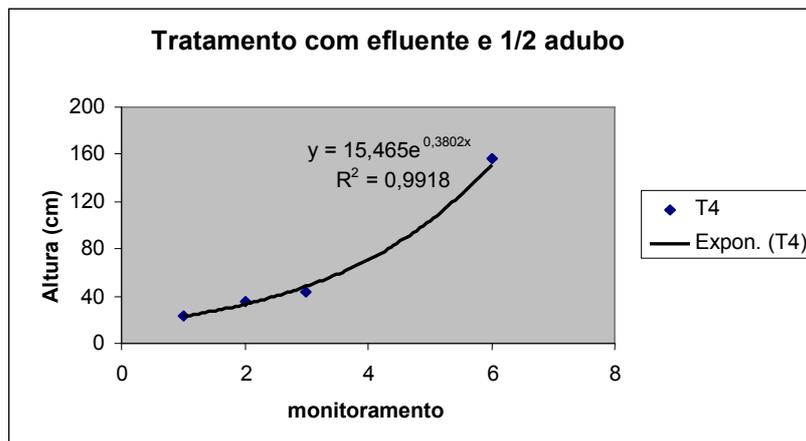


FIGURA 5.10 - Comportamento da altura média das plantas no tratamento com esgoto tratado e $\frac{1}{2}$ da adubação recomendada (T4), Aquiraz, CE, 2005.

Os gráficos mostrados nas figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 demonstram que a mamoneira apresentou um crescimento exponencial, ou seja, a curva obtida através dos dados de altura se ajustou ao modelo de regressão não linear com um comportamento exponencial, independente do tratamento aplicado. Os valores dos coeficientes de correlação (R^2), encontram-se bem próximos de 1, justificando o comportamento exponencial. No tratamento com esgoto tratado e adubação recomendada (T2), verificou-se que ocorreu um crescimento acelerado após 50 dias da germinação. Observa-se nas figuras que a maior altura média da planta foi alcançada no tratamento (T2), chegando-se a valores superiores a 190 cm após 100

dias de ciclo. Tal comportamento é um indicativo de que a presença de adubação potencializou o crescimento da mamoneira. A Figura 5.11, mostra a altura da mamoneira nos tratamentos aplicados, após 150 dias de plantio.



FIGURA 5.11 – Altura da mamoneira da plantação de Aquiraz, CE, 2005.

Obs: A mamoneira chegou a alcançar acima de 1.80 m, em todos os tratamentos.

Estudos realizados por Nascimento et al. (2004), revelaram que a altura da mamona ajustou-se ao modelo de regressão linear logístico, com um comportamento exponencial, revelando que o crescimento aumentou com a elevação da dose de biossólido e com a aplicação de água residuária, ao longo do tempo.

De acordo com Santos *et al.* (2004), a mamoneira sofre sérias restrições de crescimento quando cultivada em solo com baixos teores de nutrientes, e essa planta demanda grande quantidade de nitrogênio para obter crescimento e produção compatível com o esperado, pelo cultivo racional.

No experimento, o aporte de nutrientes para o crescimento da mamona foi retirado tanto do solo, que fora adubado, como do esgoto tratado, que possuía quantidades de nitrogênio razoável para suprir a demanda.

A ausência de nitrogênio impediria o crescimento inicial da planta, pois compõe aminoácidos e proteínas, além de impossibilitar a incorporação de carbono. Desta forma, à medida que a planta cresce, há deficiência na quantidade de clorofila (MARSCHNER, 1995 apud SEVERINO et al., 2005)

A análise de variância referente à altura da mamoneira, com relação aos tratamentos aplicados, é apresentada na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Quadro da análise de variância referente à altura da mamona

| Fonte de variação | Graus de liberdade | Quadrado médio | Valor F |
|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Tratamento | 3 | 219,21 | 2,44 ns |
| Repetição | 3 | 102,10 | 1,14 ns |
| Resíduo | 9 | | |
| Total | 15 | | |
| Média Geral | 72 | | |
| C.V(%) | 16,45 | | |

Legenda: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.
C.V(%): coeficiente de variação ns: não significativo

A análise de variância relacionada à variável “altura da planta” mostrou, pelo Teste F, que não houve diferenças estatisticamente significativas, entre os tratamentos aplicados e as repetições. Na Tabela 5.4, estão mostrados as médias obtidas em cada tratamento.

TABELA 5.4 - Médias referentes à altura da mamona.

| Tratamento | Altura (cm) |
|------------|-------------|
| 1 | 77,7 |
| 2 | 79,1 |
| 3 | 67,0 |
| 4 | 64,4 |

De acordo com a Tabela 5.4, observou-se que o tratamento (T2) foi o que obteve a maior média de altura, apesar, de não apresentar diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

5.2.3 Números de folhas, números de nós e diâmetro do caule.

Os resultados da análise de variância referente ao número de folhas, números de nós e espessura do caule, estão apresentados na Tabela 5.5, em função do tratamento aplicado e as repetições por bloco.

TABELA 5.5 - Resumo da análise de variância referente ao: número de folhas, número de nós e diâmetro do caule da mamoneira. Aquiraz, CE, 2005.

| Quadrados médios | | | | |
|------------------|----|--------------|-----------|-------------------|
| F.V | GL | Nº de folhas | Nº de nós | Diâmetro do caule |
| Tratamento | 3 | 33,69 ns | 0,62 ns | 19,6 ns |
| Repetições | 3 | 30,95 ns | 0,98 ns | 16,10 ns |
| Resíduo | 9 | 26,69 | 1,13 | 9 |
| Media geral | | 13,8 | 6,3 | 20,4 |
| C.V.(%) | | 46,78 | 22,81 | 19,37 |

Legenda: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

C.V.(%): coeficiente de variação ns: não significativo

De acordo com a análise de variância das variáveis: número de folhas, número de nós e diâmetro do caule da mamoneira, observou-se que não houve efeito significativo dos tratamentos sobre tais variáveis. Na Tabela 5.6, estão apresentadas as médias referentes ao número de folhas, número de nós e diâmetro do caule da mamona .

TABELA 5.6 – As médias referentes ao número de folhas, número de nós e diâmetro do caule da mamona. Aquiraz, CE, 2005.

| Tratamento | Médias | | |
|------------|--------------|-----------|-------------------|
| | Nº de folhas | Nº de nós | Diâmetro do caule |
| 1 | 16,7 | 6,3 | 21,6 |
| 2 | 15,9 | 6,8 | 22,3 |
| 3 | 11,1 | 6,0 | 17,3 |
| 4 | 11,6 | 6,0 | 20,3 |

Observando-se as médias de diâmetro caulinar na Tabela 5.6, as melhores respostas de circunferência da planta foram para os tratamentos em que se irrigou com água residuária, apesar de não se mostrar estatisticamente significativo. De acordo com Nóbrega *et al.* (2001), quanto maior o diâmetro do caule maior vigor e robustez e, portanto, maior resistência da planta ao tombamento e a ataques de pragas (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

5.3 Componentes de Produção

5.3.1 Números de racemos

Após 50 a 60 dias da germinação surgiram os primeiros racemos ou cachos de primeira ordem. De acordo com Beltrão (2003), a haste principal cresce verticalmente sem ramificação até o surgimento da primeira inflorescência, que tem a denominação depois das flores em cacho ou racemo, com um número variável de frutos, dependendo da cultivar e do ambiente (fertilidade do solo, precipitação pluvial, temperatura, pragas, doenças etc).

A Figura 5.12 mostra o racemo da mamoneira em fase de botão floral e o racemo da mamoneira na fase reprodutiva.



FIGURA 5.12 - Racemo da mamoneira em fase de botão floral (esquerda) e racemo na fase reprodutiva (direita), Aquiraz, CE, 2005.

O número de racemos produzidos por planta, em cada tratamento, é apresentado na Figura 5.13. Em cada bloco foi selecionada uma planta com características da cultivar BRS-149 Nordestina, para uniformidade dos dados. O número de racemos do tratamento com esgoto e adubação recomendada (T2), mostrou-se superior aos demais, com uma média de 12 racemos por planta, onde os demais produziram uma média de 7 racemos por planta.

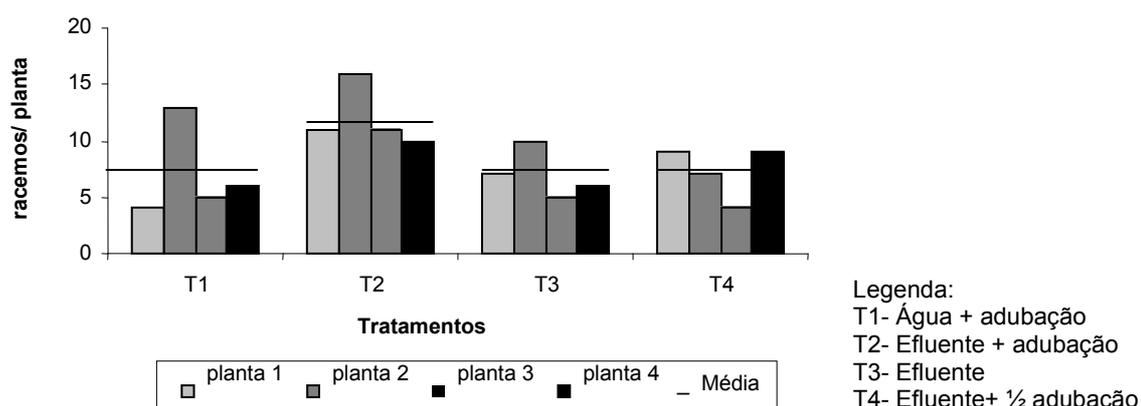


FIGURA 5.13 - Números de racemos por planta em cada tratamento da mamoneira.

Segundo Nóbrega *et. al* (2001), o número de racemos é considerado baixo quando for menor do que 3; médio, de 3 a 7; e alto, quando maior que 7. Portanto, de acordo com estes autores, verifica-se que o T2 obteve uma classificação “alta”, observando-se uma classificação “média” para os demais tratamentos. Este aumento no número de racemos trouxe um efeito direto na produção, uma vez que quanto maior o número de racemos maior o número de frutos.

O resultado da análise de variância do número de racemos em função do tratamento aplicado e as repetições por bloco, estão apresentados na Tabela 5.7.

TABELA 5.7 – Quadro da análise de variância referente ao número de racemos da mamona

| Fonte de variação | Grau de liberdade | Quadrados médio | Valor F |
|-------------------|-------------------|-----------------|---------|
| Tratamento | 3 | 24,23 | 0,024* |
| Repetição | 3 | 20,06 | 0,04* |
| Resíduo | 9 | 4,73 | |
| Total | 15 | | |
| Média Geral | 8,31 | | |
| C.V.(%) | 26,16 | | |

Legenda: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.
C.V.(%): coeficiente de variação

A análise de variância dos dados referentes à variável número de racemos, revelou diferenças significativas entre os tratamentos aplicados e suas repetições. Tal resultado indica, com segurança, que os tratamentos aplicados são significativamente diferentes entre si, em proporcionar produções diferentes em números de racemos. Na Tabela 5.8 estão apresentadas às médias analisadas no Teste de Tukey , ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 5.8 - Teste de Tukey para as médias referentes ao número de racemos.

| Tratamento | Número de racemos (un.) |
|-------------------|--------------------------------|
| 1 | 7,0 a* |
| 2 | 12,0 b |
| 3 | 7,0 a |
| 4 | 7,3 ab |

*: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A análise de médias obtida pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, comprovou que o número de racemos produzido nos blocos irrigados com esgoto doméstico e adubação recomendada foi superior aos tratamentos 1 e 3, mas diferiu significativamente do tratamento 4. Portanto, a combinação adubação com efluente foi determinante no aumento da produção por planta.

5.3.2 Comprimento dos racemos, número de frutos e peso de 100 sementes

A análise de variância dos dados referentes ao comprimento dos racemos, peso de 100 sementes e número de frutos da mamona, com relação aos tratamentos aplicados, é apresentada na Tabela 5.9.

TABELA 5.9 - Resumo das análises de variâncias, referentes aos componentes de produção: comprimento do racemo (CR), peso de 100 sementes (P100S), número de frutos (NF) da mamoneira irrigada com diferentes tratamentos. Aquiraz, CE, 2005.

| Quadrados médios | | | | |
|--------------------|----|---------|----------|------------|
| F.V | GL | CR | P100S | NF |
| Tratamento | 3 | 7,64 ns | 21,56 ns | 92147,41* |
| Repetições | 3 | 1,17 ns | 44,84 ns | 8127,75 ns |
| Resíduo | 9 | 23,01 | 23,34 | 11396,47 |
| Media geral | | 44,22 | 64,24 | 387,37 |
| C.V.(%) | | 10,85 | 7,52 | 27,56 |

Legenda: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo; C.V.(%) = coeficiente de variação

A análise de variância dos dados referentes às variáveis de comprimento de racemo e peso de 100 sementes mostrou, pelo Teste F, que não houve diferenças significativas, entre os tratamentos (Tabela 5.9).

Experimentos realizados por Severino *et al.* (2004), sobre a caracterização de sementes de mamona em diferentes faixas de pesos, mostram que o volume e a densidade variam de acordo com o peso da semente, apesar da relação não ser linear, e que o peso das sementes é influenciado pelas características ligadas ao crescimento. Foi observado no presente trabalho que o peso de 100 sementes, não sofreu influência significativa pelos diferentes tratamentos aplicados.

A análise de variância dos dados referentes à variável número de frutos revelou diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Tal resultado indica, com segurança, que os tratamentos aplicados são significativamente diferentes entre si em proporcionar produções diferentes em números de frutos.

Na Tabela 5.10 apresentam-se as médias analisadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, referentes ao comprimento do racemo, peso de 100 sementes e números de frutos.

TABELA 5.10 - Valores médios dos tratamentos para as variáveis: comprimento do racemo (CR) peso de 100 sementes (P100S) e números de frutos (NF) da mamoneira. Aquiraz, CE, 2005.

| Tratamento | Médias | | |
|------------|--------------------|--------|---------|
| | CR | P100S | NF |
| 1 | 45,1 ^{a*} | 67,30a | 250,50a |
| 2 | 42,1a | 63,10a | 604,50b |
| 3 | 42,2a | 64,62a | 349,75a |
| 4 | 44,4a | 61,92a | 344,75a |

*: Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Turkey.

A análise de médias obtidas pelo Teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, demonstrou para o número de frutos produzidos nos blocos irrigados com esgoto tratado e adubação recomendada (T2) foi significativamente superior aos demais tratamentos, que, por sua vez, foram semelhantes entre si quanto ao número de frutos produzidos.

Experimentos realizados na cidade de Campina Grande, no estudo do efeito da irrigação com água residuária tratada e adubação com biossólidos, demonstraram que o número de frutos foi bem superior nas áreas irrigadas com esgoto tratado (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

A alta produtividade de frutos está relacionada ao número de racemos produzidos, ou seja, quanto maior o número de racemos, maior o número de frutos. Neste caso, verificou-se que o metabolismo da mamona respondeu positivamente ao esgoto tratado e adubação, mostrando que a cultura conseguiu converter eficientemente os nutrientes existentes na adubação do solo (Tabela B1 em anexo), juntamente com outros nutrientes presentes no esgoto (Tabela 5.2), em produção de frutos.

5.3.3 Produtividade

A produtividade média das sementes de mamona, em kg por hectare, está mostrada na Figura 5.14. Uma planta foi selecionada por tratamento, e a

produtividade mais próxima da média geral foi escolhida, para expressar a produtividade por planta.

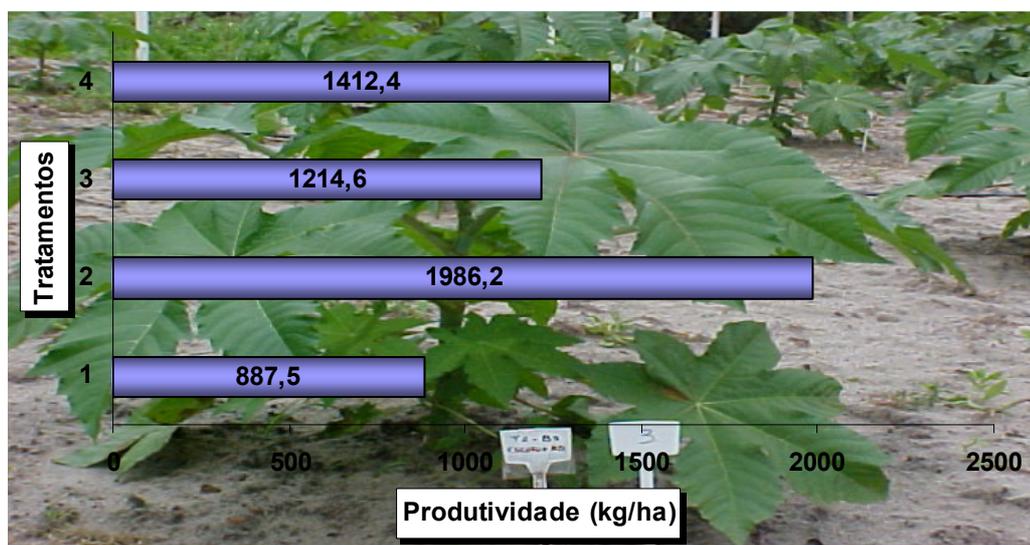


FIGURA 5.14 – Produtividade da mamona em kg/ha por planta.

Pode-se perceber, a partir da Figura 5.14, que a maior produtividade se deu no tratamento com esgoto tratado e adubação recomendada (T2). Ademais, nota-se que os outros tratamentos (T3 e T4) que utilizam esgoto tratado na irrigação apresentam uma produtividade maior que a alcançada do tratamento com água e adubação recomendada (T1).

Segundo Beltrão *et. al* (2005), a cultivar BRS 149, em regime de sequeiro, tem uma produtividade média entre 1000 e 1500 kg/ha, dependendo das chuvas do ano e do local de produção. Comparando os valores obtidos no experimento, certamente, a produção do tratamento com água e adubação recomendada (T1) é inferior à média da produtividade, em anos normais quanto à precipitação pluvial. A alta produtividade, para os tratamentos que utilizaram esgoto tratado na irrigação, foi provavelmente devido aos nutrientes contidos no esgoto (macro e micronutrientes), que juntamente com a adubação do solo, potencializaram a produtividade.

A mamoneira é exigente em fertilidade do solo para que atinja boa produtividade, em que os macronutrientes afetam tanto o crescimento vegetativo quanto o reprodutivo, enquanto os micronutrientes afetam principalmente o reprodutivo (SEVERINO *et. al*, 2005).

Miranda (1995) encontrou maior produtividade nos tratamentos irrigados com água residuária em relação aos tratamentos com água superficial na irrigação da alface, sendo este fato atribuído principalmente à disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio na água residuária, que são fundamentais ao desenvolvimento das plantas. Através da análise química do esgoto tratado (Tabela 5.2), observaram-se quantidades de nitrogênio e fósforo razoáveis para contribuir no aporte de nutrientes para a produção da cultura.

O resultado da análise de variância referente à produção da mamona, nos blocos dos tratamentos aplicados, é apresentado na Tabela 5.11.

TABELA 5.11 – Quadro da análise de variância referente à produção da mamona, Aquiraz, CE, 2005.

| Fontes de variação | Grau de liberdade | Quadrados médios | Valor F |
|--------------------|-------------------|------------------|-----------|
| Tratamento | 3 | 948423,28 | 0,0143* |
| Repetição | 3 | 443126,41 | 0,0945 ns |
| Resíduo | 9 | 153217,91 | |
| Total | 15 | | |
| Média Geral | 1. 368,33 | | |
| C.V. (%) | 28,61 | | |

Legenda: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.
C.V.(%): coeficiente de variação ns: não significativo

A análise de variância dos dados referentes à variável produção, revelou diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Tal resultado indica, com segurança, que os tratamentos aplicados são significativamente diferentes entre si em proporcionar produções diferentes. Em virtude dessas diferenças se procedeu a análise de médias pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, cujo resultado encontra-se na Tabela 5.12.

TABELA 5.12 - Teste de Tukey para as médias referentes à produção.

| Tratamento | Produção (Kg/ha)* |
|------------|-------------------|
| 1 | 955,05 a |
| 2 | 2073,87 b |
| 3 | 1224,20 ab |
| 4 | 1220,17 ab |

*: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si.

A análise de médias obtidas pelo Teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, demonstrou que as produtividades médias nos tratamentos com esgoto tiveram tendência de serem superiores às obtidas no tratamento com água. O tratamento com esgoto tratado e adubação recomendada (T2), superou em 217% a produtividade alcançada no tratamento com água e adubação recomendada (T1), sendo estatisticamente superior a (T1) e não diferindo significativamente de (T3) e (T4). Aliás, (T1) só diferiu significativamente de (T2), mas foi semelhante do ponto de vista estatístico, a (T3) e (T4). Estudos realizados com fertilização química, por Severino *et. al* (2005), revelaram um aumento de produtividade de 63% entre os tratamentos com e sem adubação.

Relacionando o número de racemos obtidos no tratamento com esgoto tratado e adubação (T2) com a sua produtividade, observou-se que, neste tratamento, o número de racemos é o único com classificação “alta”, revelando a sua maior produtividade.

5.4 Avaliação do sistema de irrigação

Os sistemas de irrigação do tipo microaspersão utilizados na irrigação da mamona foram avaliados através do coeficiente de uniformidade (CU). Os resultados obtidos na determinação de CU para ambas as águas de irrigação foram 89,5% de uniformidade, para o sistema com esgoto tratado, e 88,9% de uniformidade, para o sistema com água bruta. A vazão média do esgoto tratado foi de 54,7 L.h⁻¹ e para a água bruta foi de 65,8 L.h⁻¹. A diferença nos valores médios da vazão foi devida ao número de linhas laterais irrigadas, onde na irrigação com água bruta foi feita

apenas em duas linhas laterais (representando um tratamento) e a irrigação com esgoto tratado feita com oito linhas laterais (representando três tratamentos).

A uniformidade de distribuição de água em áreas irrigadas influencia diretamente no desempenho da cultura. Uma baixa uniformidade de distribuição de água faz com que algumas plantas recebam mais água que outras, trazendo um desenvolvimento heterogêneo da cultura. Assim, reduz-se a disponibilidade de água no solo, podendo retardar o crescimento das plantas e restringir o desenvolvimento radicular, além de aumentar os riscos de salinização (AYRES & WESTCOT, 1991). O excesso de água no solo pode provocar lixiviação de nutrientes, redução na concentração de oxigênio disponível às raízes e aumentar a incidência de pragas e doenças.

Esses resultados demonstram que o sistema de irrigação teve boa uniformidade de aplicação de água, tanto para o esgoto tratado quanto para a água bruta, observando-se que, na prática, o limite mínimo do coeficiente de uniformidade aceitável em sistemas de irrigação localizada é de 80%.

Neste sentido, o solo manteve-se úmido, com valor de umidade próximo a capacidade de campo, em torno de 90% desta. Esta é definida como a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso é drenado livremente (MARROUELLI *et al.*, 1996 apud MAGALHÃES, 2004). Logo, assume-se que a planta não sofreu estresse hídrico por falta de água e, por isso, não houve, de modo geral, retardamento nas fases vegetativa, reprodutiva.

Segundo Costa (1995) apud Magalhães (2004), a influência do fator hídrico na produção tem sido bastante pesquisada em praticamente todas as espécies vegetais cultivadas, e algumas silvestres. Por isso, as melhores produções são obtidas quando a umidade do solo permanece em torno da capacidade de campo. O excesso e a deficiência da disponibilidade hídrica mostraram-se prejudiciais aos rendimentos.

Estudos realizados por Beltrão *et al.* (2003) sobre o comportamento das cultivares da mamona BRS 149, Nordestina e a BRS 188, Paraguaçu, em regime de

sequeiro no Cariri do Ceará, mostrou que a irregular distribuição de chuvas reduziu a produtividade da mamoneira, havendo necessidade de uma quantidade de chuvas, acima de 750 mm, para produzir mais de 1500 kg bagas/ha.

No período compreendido entre o plantio e a última colheita, ocorreu uma precipitação pluvial, em 2005, em torno de 850 mm no município de Aquiraz, valor bem abaixo das médias históricas dos meses de fevereiro a agosto.

A irrigação foi feita em todo período do experimento, exceto nos dias com precipitação acima de 8 mm. Nos meses de março a junho, ocorreram maiores precipitações acima de 8 mm, com uma média de 7 dias por mês. Abril foi o mês com a maior ocorrência de precipitações acima de 8mm, num total de nove dias. Apesar disso, a precipitação ficou abaixo da média dos últimos 30 anos. Os meses de fevereiro e março, também ficaram bem abaixo da média histórica, como é mostrada na figura 5.15. Somente, ocorreu um excedente no mês de maio, em torno de 44 mm. Os dados referentes às condições climatológicas ocorridas durante o experimento, estão apresentados nas tabelas C.1 e C.2, em anexo.

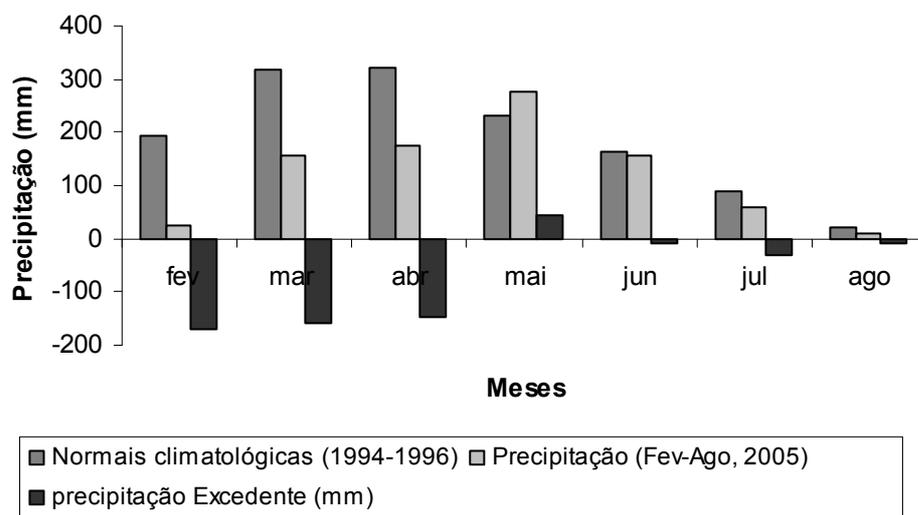


FIGURA 5.15 - Índices pluviométricos nos meses de fevereiro a maio de 2005 comparados à precipitação histórica dos últimos 31 anos. (Fonte: Pluviômetro instalado na área experimental, FUNCEME, 2005), Aquiraz, CE, 2005.

5.5 Óleo

Para extração do óleo, utilizaram-se aproximadamente 200 g de sementes trituradas, por se tratar de escala laboratorial. As análises de obtenção de óleo das sementes da mamona não trazem resultados que permitam uma comparação com a escala industrial, devido à indústria utilizar o filtro prensa que extrai mecanicamente quase 80% do óleo contido nas sementes, sendo que o óleo remanescente contido na torta, é retirado com solvente.

Dois métodos foram utilizados para extrair o óleo das sementes, nos quais se pode observar uma diferença acentuada no rendimento. Segundo Conceição et al. (2003), a semente da mamona contém de 47 a 49% de óleo.

A extração a quente realizada pelo método de Soxhlet, extrai aproximadamente 30% do óleo contido nas sementes. Já para a extração a frio, este percentual deve ficar abaixo de 10%, justificando assim o baixo teor de óleo contido nas sementes, nos dois métodos empregados.

A percentagem de óleo nas sementes varia bastante, dependendo do ambiente de cultivo e da cultivar, sendo, em geral, entre 40 e 60%, tendo como valor mais apropriado entre 45 e 50%, para se ter o equilíbrio entre o teor deste produto como um todo e o teor do ácido graxo ricinoléico, que deve ser de pelo menos 89% do total do óleo (BELTRÃO, 2003). A Tabela 5.13 mostra os percentuais de óleo e teor de óleo obtidos em cada tratamento, nos dois métodos de extração empregados.

TABELA 5.13 - Rendimentos da Extração do óleo da mamona Aquiraz, CE, 2005.

| Tratamento | óleo obtido(g) | | | | % de óleo | |
|------------|----------------|------|--------|------|-----------|--------|
| | a quente | dp | a frio | dp | a quente | a frio |
| T1 | 57,0 | 1,09 | 6,83 | 0,02 | 28,5 | 3,4 |
| T2 | 57,4 | 1,55 | 6,35 | 0,08 | 28,85 | 3,2 |
| T3 | 9,0 | 1,41 | 4,74 | 0,34 | 4,5 | 2,4 |
| T4 | 48,6 | 0,17 | 6,48 | 0,5 | 24,3 | 3,2 |

Legenda: dp = desvio padrão

O rendimento obtido na extração a quente foi bem superior ao obtido na extração a frio, apesar do tempo de contato do solvente ser maior na extração a frio. O baixo rendimento é devido ao solvente hexano extrair melhor em elevadas temperaturas, ou seja, a elevação da temperatura faz com que a semente libere mais óleo. O percentual de óleo obtido na extração a quente ficou bem próximo nos tratamentos T1, T2 e T4. Estes rendimentos aproximados demonstram que a utilização de esgoto tratado na irrigação da mamona provavelmente não interfere no rendimento de óleo da semente, e que os maiores percentuais de rendimentos obtidos foram atribuídos aos tratamentos que receberam a adubação recomendada.

O tratamento que utiliza somente irrigação com esgoto (T3) apresentou valores de rendimentos muito abaixo dos demais obtidos, Este rendimento inferior deve ser devido à falta de adubação no solo, e os nutrientes contidos no esgoto tratado não foram suficientes para suprir a semente.

A Tabela 5.14 mostra os percentuais de ésteres metílicos e insaponificável, e o teor de óleo fixo, obtido em cada tratamento.

TABELA 5.14 - Composição do óleo da mamona após a reação de conversão dos ácidos graxos, Aquiraz, CE, 2005.

| Tratamento | %insaponificável | | % de est. metílicos | | Óleo fixo no obtido (g) | |
|------------|------------------|--------|---------------------|--------|-------------------------|--------|
| | a quente | a frio | a quente | a frio | a quente | a frio |
| T1 | 1,48 | 1,75 | 30,51 | 20,33 | 17,4 | 1,39 |
| T2 | 1,43 | 2,64 | 29,45 | 21,94 | 17,0 | 1,39 |
| T3 | 1,26 | 2,85 | 30,11 | 15,27 | 2,69 | 0,73 |
| T4 | 1,04 | 2,22 | 26,12 | 21,29 | 12,7 | 1,27 |

A reação de conversão do óleo da mamona, quando se utiliza o metanol como agente de transesterificação, foi realizada para obtenção do principal constituinte do biodiesel, os ésteres de ácidos graxos ou ésteres metílicos. Para Cardone et al. (2003), os óleos vegetais são compostos principalmente de ésteres glicerídeos de ácidos graxos (triglicerídeos).

No processo de transesterificação, os componentes de glicerol das moléculas de triglicerídeos são transformados pelo metanol (ou etanol). Os produtos são ésteres metílicos (etílicos) de ácidos graxos, constituídos de cadeia linear de hidrocarbonetos saturados e insaturados (KOSSMEHL, 1997).

De acordo com a Tabela 5.14, a percentagem de ésteres metílicos é bem superior ao do percentual insaponificável, ou seja, a semente contém a maior parte em ácidos graxos, como era de se esperar. Segundo Conceição et al. (2003), o óleo da mamona é um triglicerídeo derivado do ácido ricinoléico, o qual se constitui de 90% de ácidos graxos presentes na molécula e de 10% de ácidos graxos não hidroxilável, principalmente por ácidos oléicos e linoléico. A acentuada presença de um único tipo de ácido graxo na composição dos triglicerídeos é uma interessante característica do óleo da mamona.

Na Tabela 5.14, observa-se que o percentual de ésteres metílicos para os tratamentos se encontrou em torno de 30% para o óleo obtido na extração a quente, e 20% para a extração a frio. O percentual de insaponificável foi bem maior no óleo extraído a frio e bem menor na obtenção de ésteres metílicos. A extração a frio mostrou que a obtenção de óleo deixa a desejar tanto no rendimento do óleo, quanto na composição de ácidos graxos. Para os tratamentos que utilizaram a água (T1) e o esgoto (T2) com adubação recomendada, o óleo fixo (em gramas) teve maior valor devido a maior quantidade de óleo na extração a quente, sendo que tal incremento na produção de óleo provavelmente está vinculado à adubação mineral adicionada ao solo (Tabela B1 em anexo).

Estudos realizados por Severino *et al.* (2005) mostraram que o teor de óleo nas sementes só apresentou diferenças significativas entre os tratamentos com e sem adubação, aumentando de 43,5% para 47,4% com fornecimento de fertilizantes. A produtividade de óleo (produção x teor de óleo/100) passou de 205,1 kg/ha na ausência da adubação, para 365,2 kg/ha na sua presença, correspondendo a um aumento de 78%.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- A irrigação com esgoto doméstico tratado contribuiu significativamente no aumento da produção da mamona, tornando, portanto, viável a implementação desta cultura em comunidades rurais, devido sua afinidade com as características do esgoto.
- Os nutrientes contidos no esgoto tratado não foram suficientes para aumentar a produção em níveis de adubação, porém contribuíram significativamente no desenvolvimento da cultura.
- A mamona apresentou crescimento de comportamento exponencial com relação à altura, para todos os tratamentos.
- As variáveis: números de folhas, números de nós e espessura do caule não apresentaram diferenças significativas em relação aos tratamentos aplicados.
- A produção de racemo foi superior no tratamento utilizando efluente e adubação completa (T2), onde a classificação foi alta, e para os demais tratamentos foi média.
- O tratamento (T2) superou os demais tratamentos, em 240% no número de frutos por planta e na produtividade, superando as produtividades obtidas em regime de serqueiro, na qual, as produtividades nos tratamentos com efluente foram superiores ao tratamento com água natural. As variáveis de produção, comprimento de racemo e peso de 100 sementes, não apresentaram diferenças significativas nos tratamentos aplicados.

- O método de extração a quente foi o que proporcionou maior rendimento de óleo, e entre os tratamentos, o menor percentual de óleo foi obtido no tratamento (T3).
- Os rendimentos de ésteres metílicos ficaram em torno de 30%, para a extração a quente, e 20% para a extração a frio, e o teor de óleo fixo foi maior nos tratamentos com adubação, sendo que o tratamento sem adubação (T3) foi seis vezes inferior aos demais.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Procurando auxiliar a realização de trabalhos futuros, têm-se as seguintes sugestões:

- Realizar trabalhos com reúso e o cultivo da mamona, consorciada com culturas direcionadas para alimentação básica, tendo em vista que se pretende trabalhar com agricultores em nível de famílias.
- Estudar os impactos sociais do reúso no cultivo da mamona e avaliar a opinião pública sobre a prática.
- Utilizar outras tecnologias de tratamento de esgoto para melhorar a qualidade do efluente final e comparar com outras técnicas, avaliando qual a técnica mais adequada para reúso na irrigação da mamona.
- Desenvolver protótipos de miniusinas para extração e beneficiamento do óleo da mamona irrigada com esgoto tratado.
- Realizar estudos sobre a salinização do solo após vários anos de cultivo da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado.
- Estudar a viabilidade econômica da irrigação da mamona com efluentes, avaliando os custos do tratamento e distribuição do efluente aos agricultores.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

_____. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.

AGENDA 21: Capítulo 18. Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. <http://www.mma.gov.br>.

ALMEIDA, E. C. **Alterações no solo e produção de feijão-caupi pela disposição subsuperficial de esgoto**. Dissertação: (Mestrado em engenharia civil, Área de concentração - saneamento ambiental) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005. 115 f.

ALVES, I. R., **Utilização de esgoto doméstico tratado na irrigação do coqueiro e os possíveis impactos sobre as características do solo**. Dissertação: (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005. 115p.

ALVES, M. O. **Possibilidade da mamona como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 42p.

AMORIM NETO, M. Da S.; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA. **Clima e Solo**. In.: Azevedo, D.M.P.; Lima, E.F. (eds) Brasília: Embrapa SPI, 2001, p.62-76.

ANDRADE NETO, C.O. O uso de esgotos Sanitários e Efluentes Tratados na Irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1991, Natal, **Anais...** Natal: Abid, p.1961- 2006, Natal, 1992.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 15.ed. Arlinton, 1990. 684p.

ARAÚJO, L. F. P. **Reúso com lagoas de estabilização**, potencialidade no Ceará. Fortaleza, SEMACE, 2000.

ARAÚJO, L. F. P. **Lagoas de Estabilização na Região Metropolitana de Fortaleza – RMF: Qualidade e Potencialidades de Reúso do Efluente Final**. Dissertação: (Mestrado engenharia civil, Área de concentração – Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 1999.

ARBULÚ, M. N.; BARCELLOS, C. V.; PINTO, S. A. A.; DIAS, K. L. A Cadeia Produtiva da mamona: Uma Estratégia produtiva para o Ceará. Instituto Agropolos do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA 1: ENERGIA E SUSTENTABILIDADE. **Anais...** Campinas, PB, 2004.

ARMON, R.; DOSORETZ, C.G.; AZOV, Y. & SHELEF, G. **Residual Contamination of Crops Irrigated with Effluent of Different Qualities: A field Study**. Water Science and Technology, v.30, n.9, p.239-248, 1994.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.; tradução de GHEYI, J.F.M.; DAMACENO, F.AV. **A qualidade da água na agricultura**, Campina Grande, UFPB. 1991. 218p.

AZEVEDO, D. M. P. de.; LIMA, E.F. **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2001.

BASTOS, R. K. X. (Org.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. PROSAB 3. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 267 p.

BELTRÃO, N. E. de M.; MELO, F. de B.; CARDOSO, G. D.; SEVERINO, L. S. Mamona: Árvore do Conhecimento e Sistemas de Produção para o Semi-árido Brasileiro. Campina Grande: EMBRAPA-CNPAT, **Circular Técnica**, 70, 2003. 19p.

BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, L. C.; MELO, F. B. **Mamona consorciada com feijão visando produção de biodiesel**, emprego e renda. Revista Bahia Agrícola. V.5, n. 2, p.34-37, nov. 2002.

BELTRÃO, N.E. **Informações sobre o biodiesel**, em especial feito com o óleo de mamona. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Comunicado técnico**, 177. Campina Grande, dez. 2003.

BELTRÃO, N.E. de M. **A cadeia da mamona no Brasil, com ênfase para o segmento P&D: estado da arte, demandas de pesquisa e ações necessárias para o desenvolvimento**. Campina Grande, PB: EMBRAPA, 2004. 19p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5ª ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV. 1989, 596p.

BOUWER, H. **Agricultural and municipal use of wastewater**. Water Science Technology. v.26, n.7-8, p.1583-1591, 1992.

BRANDÃO, L. P. **Gerenciamento de lodos de lagoas de estabilização: Estudo de caso: Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado em Saneamento - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2004.

BRASIL. **Ministério da Ciência e tecnologia**. Programa Brasileiro de Biocombustíveis - PROBIODIESEL. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sqal/ozonio/capa/>>. Acesso em: 16 de maio 2005.

BRASIL. Grupo de trabalho Interministerial. Estudos de viabilidade de Utilização de Óleo vegetal – Biodiesel, **relatório final**. Brasília: Casa Civil, nov. 2003.

BUREAU, R.G.; SHEIH, B.; CORT, R.P.; COOPER, R.C. e RIRIE, D. **Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw**. California Agriculture, v.41, n.7-8, p.4-7, 1987.

CAMPOS, J.R. (Org.) **Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo**, Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999.14, p.464.

CANECCHIO FILHO, V.; FREIRE, E. S. **Adubação da mamoneira**: experiências preliminares. Bragantia, v. 17, 1958, p.243-259.

CARDONE, M.; MAZZONCINI, M.; MENINI S.; ROCCO, V.; SENATORE, A.; SEGGIANI, M.; VITOLO, S. **Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel** in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. Biomass and Bioenergy, Università di Pisa, Italy, 2003. p. 623-636.

CONAMA. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. **Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, DF, abr. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2005.

CONCEIÇÃO, M. M.; ROBERLÚCIA, A. C.; SILVA, F. C.; BEZERRA, A. F.; FERNANDES, V. F. **Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. 12 p.

DALTRO FILHO, J. **Saneamento Ambiental: doença, saúde e saneamento da água**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, Aracaju: Fundação Oviêdo Texeira, 2004. 331p.

DUQUE, G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1973, 238p.

EDWARDS, P. **Reuse of human wastes in aquaculture: A technical Review**. World Bank. Wasshington D.C,1992.

EMATERCE - EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO CEARÁ Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) por Marco Aurélio César de Vasconcelos, EMATERCE: **Informações Técnicas**, 29. Fortaleza, 1990. 19p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico do Semi-Árido Petrolina, EMBRAPA: **Relatório técnico anual: 1979-1990**. Petrolina, 1993. 175p.

ENSINK, J. H.; HOEK, W. van der; MATSUNO, Y.; MUNIR, S.; ASLAM, M. R. **Use of Untreated wastewater in peri-urban agriculture in Pakistan: Risks and opportunities**. Research Report 64. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2002. 22p.

EPA - Environmental Protection Agency. **Process design manual for land treatment of municipal wastewarter**. Cincinnati, Ohio, 1981.

EVANS, D.R.; AHLSTROM, S.B. et al. **Water reuse**. Manual of practice. Alexandria-EUA: Water Pollution Control Federation, **Manual of Practice SM-3**, 1991, 243p.

FERREIRA, G. B.;SANTOS, A. C. M. ; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S. ; BELTRÃO, N. E. de M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. A Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Embrapa Algodão, 2004.

GOLDEMBERG, J. **O futuro energético desejado para o Brasil**, 2000. Disponível em: <http://www.dep.fem.unicamp.br/boletim/boletim_04/artigo05.htm> acesso: 16 junho 05.

GOEWIE, F.A.; DUQQA, M.M. **Closing nutrient cycles by reusing sewage wates in Jordan Faculty of agricultura**, Jordan University, Ammam, Jordan, 2002. 17p.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. Reúso de água. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003a. cap. 3, p.37-95.

HESPANHOL, I. **Uma saída para a crise dos mananciais**. Jornal da USP, São Paulo, p. 14 a 20, ano XVIII, n.638, abr. 2003b.

HORTMAN, L. e LAGO, R. C. A. **Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids**. Lab. Pratices, 22: 475-76.1973.

IBGE, **Resultados da amostra do censo demográfico de 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/pesqmun.php?nomemun=Aquiraz>> Acesso em: 30 de nov. 2004.

INCRA. **Exemplos de assentamentos do Incra bem-sucedidos**. Disponível em : <<http://www.akatu.net>> Acesso em: 06 jun 2004.

IPECE. **Conjuntura econômica do Ceará: 3º trimestre - 2003**. Fortaleza, 2003.
IWMI. **Urban wastewater reuse for crop production in the water-short Guanajuato River Basin, México**, IWMI Reseach Report 41, 2002.

JIMÉNEZ-CISNEROS, B. Wastewater Reuse to Increase Soil Productivity. **Water Science and Technology**, v.32, n.12, p. 173-180, 1995.

KIRK, R. E.; OTMER, D. F.; GRAYSON, M.; ECKROTH, D. **Encyclopedia of Chemical Technology**; third edition. Vol. 5. A willey-interscience publication, 1979. 880p.

KOSSMEHL, H. H. **The automotive industry's views of the stands for plant oil-based fuels**. In: MARTINI N. SCHELL JS, editors. Proceedings of the Symposium on Plant Oils Fuels, Berlin, 1997, p. 18-28.

LINO, F. H. Guerra da água ameaça o século. **O globo**, Rio de Janeiro, agosto 7; cad Planeta Terra 12:17, 2002.

LUCAS FILHO, M.; PEREIRA, M. G.; DE LIMA, A. M.; DA SILVA, D. A.; FONSECA, F. C. E. **Avaliação preliminar do potencial de reúso de águas residuárias tratadas em culturas de milho (*Zea mays*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. 2001. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. Ref. II-071.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. Minas Gerais: Ortofarma; 2000. p.1-15.

MAGALHÃES, D. I. **Avaliação da produção de feijão-caupi (*vigna unguiculada* (L.) Walp), através da disposição de esgoto doméstico no solo: aspecto sanitário**. Fortaleza, 2004. 101 f. Dissertação: (Mestrado em engenharia civil, Área de concentração: saneamento ambiental), Universidade Federal do Ceará.

MALAVOLTA, E. Nutri-fatos: informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas. **Arquivo do Agrônomo**. Piracicaba: Potafos, 1996, n. 10, p-13.

MALTCHIK, L. Transposição ou política regional de águas? **Jornal da Paraíba**, João Pessoa, 23 de mar. de 1997. Milenium.

MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003.

MARA, D.D., MILLS, S.W., et al. **Waste Stabilization ponds: A viable Alternative for Small Community Treatments Systems**. J.IWEM. v.6, p.72-78, 1992.

MELO, J.A.S. **Aplicação de águas residuárias no solo como método de tratamento**, disposição final e reciclagem de águas usadas. Engenharia Sanitária, v.17, n.1, p.82-91, jan./mar., 1978.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment**, disposal and reuse. 3. ed. New York: Mc Graw Hill, 1991.

MIRANDA, T.L.G. **Reúso de efluente de esgoto doméstico na irrigação de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 109p. Dissertação: (Mestre em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1995.

MONTE, H.M. & SOUZA, M.S. Effects on Crops of Irrigation with Facultative Pond Effluent. **Water Science and Technology**, v.26, n.7-8, p.1603-1613, 1992.

MORAIS, E. R. C. de; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. de. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do departamento de solos e geologia da Escola Superir de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, n.11, p. 75-83, dez. 1998.

MOTA, S. (organizador) **Reúso de Águas**: Experiência da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: DEHA/UFC, 2000.

NASCIMENTO, M. B. H. do; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M. B.; SOUZA, P. de S. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: componentes da produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1, **Anais...** Campina Grande, PB, 2004. 6p.

NEILSEN, G.H.; STEVENSON, D.S.; FITZPATRICK, J.J. & BROWNLLE, C.H. Yield and plant nutrient content of vegetables trickle-irrigated with municipal wastewater. **Hort Science**.v.24, n.2, p.249-252, 1989.

NÓBREGA, M. B. de M.; Andrade, F. P. de; Santos, J. W. dos ; Leite, E.J. Germoplasma In: AZEVEDO, D.M.P.de; LIMA, E.F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2001. cap.11, p.257-280.

NOGUEIRA, V. L. M. **Caracterização do Sistema de Lagoas de Estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos do Parque Fluminense**. Dissertação: (Mestrado em engenharia civil, concentração em Saneamento Ambiental), UFC. Fortaleza, CE, 1999.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. Coordenação Ariovaldo Nuvolari. São Paulo: Edgard Blüncher, 2003. 520 p.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1995. Environmental Health Aspects of Metropolitan Planning and Development. **Technical Report Series**, 297, Geneva, Switzerland.

PARENTE, E. J. S. BIODIESEL: **Uma Aventura Tecnológica Num País Engraçado**. Fortaleza-CE , 2003.<<http://www.tecbio.com.br>> acesso em:

PAGANINI, W.S. **Disposição de Esgotos no Solo**: Escoamento à Superfície. São Paulo: AESABESP, 1997. 232p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Ed. Manole, São Paulo. 1º edição, 1990.

SANDRI, D. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leito cultivado com macrófita**. Campinas, 2003. 200 f. Tese: Doutorado: Engenharia agrícola, área de concentração em Água e Solo, Universidade estadual de Campinas, SP.

SANTIAGO, R. G. **Avaliação da qualidade do efluente final do sistema de lagoas de estabilização do SIDI**, visando ao uso na agricultura. Fortaleza, 1999. 94 f. Dissertação: Mestrado em engenharia civil, área de concentração em saneamento ambiental, Universidade Federal do Ceará.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; *et. al.* Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus Communis*): descrição do efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004.

SANTOS, H.F. & MANCUSO, P.C.S. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. In: MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. Reúso de água. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003. p.1-19.

SANTOS, N. M. R. **Biodiesel** - Uma alternativa Energética Sustentável. Fortaleza, 2004. 131 f. Monografia (curso de especialização em avaliação ambiental), Universidade Federal do Ceará.

SCALOPPI, E. J. & BAPTISTELLA, M J. R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. 12, **Anais...** Brasília, 1986, p.1049-1067.

SEVERINO, L. S.; MORAES, C. R. de A.; FERREIRA, G. B.; CARDOSO, G. D.; GONDIM, T. M. de S.; BELTRÃO, N. E. DE M.; VIRIATO, J. R. Crescimento e produtividade da mamoneira sob fertilização química em região semi-árida. Campina Grande - Embrapa Algodão: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, setembro de 2005, n.62, 19p.

SHAW, R. 1999. **Running water more technical briefs on health, water and sanitation**. Intermediate technology Publication. Lodon, 1999.

SHELEF, G. Wastewater reclamation and water resources management in Israel. **Water Science and Technology**, v.24, n.9, 1991, p.251-265.

SILVA, A. K. P. de; FLORES, L. C.; GALDEANO, M. M.; VAL, P. do T. Reúso de **Água e suas implicações jurídicas**. São Paulo, SP: Navegar editora, 2003.113p.

SILVA, F. J. A. da; Trinta anos de lagoas de estabilização no Ceará. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XI., 2004, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 2004.116 p.

SILVA, N; JUNQUEIRA, V.C.A. & SILVEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise microbiológica de Alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

SNEL, Dr M. **Re-use of wastewater** – its advantages and disadvantages specifically from an institutional and socio-cultural perspective. International Water and sanitation Centre, Delft, The Netherlands. 2002, 7p.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D. **Tratamento e Utilização de esgotos Domésticos na Agricultura**. Campina Grande: EDUEP, 2002. 84p.

SOUZA, E. A.; FERREIRA, M. E.; BONO, G. M.; BANZATTO, D. A. Efeitos da fertilização nitrogenada, fosfatada e potássica na produção da mamoneira (*Ricinus communis L.*) **Científica**, São Paulo, v.2, n.2. 1974, p.162-168.

STEIN, J.L. & SCHWARTZBROD, J. Experimental Contamination of vegetables with Helminth Eggs. **Water Science and Technology**. v.22, n.9, 1990, p.51-57.

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

TELES, M. Projeto pode revolucionar uso do diesel no País - Biodiesel. **O povo**. Fortaleza, 13 de out. 2003.

TSUTIYA, M. T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. Ref. II - 007.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**, São Carlos, editora RiMa, Instituto Internacional de Ecologia, 2003. 248p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Technical Report No EPA/625/R-92/004. Washington, DC: USEPA, 1992.

VALE, M. B.; AZEVEDO, A. O. D. de; INGUNZO, M. del P. D; ARAÚJO, A. L. C. Monitoramento de metais pesados nos efluentes de quatro lagoas de estabilização em série na Grande Natal – RN. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

VARGAS, S.V. Reutilização de Efluentes para a Irrigação, uma Alternativa para as zonas áridas. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. Recife: **Anais...**, p.625-37, 1990.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, Lagoas de Estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte, v.3, 1996.134p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, Lagoas de Estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais. 2º ed., Belo Horizonte, 2002. v.3.196p.

WEISS, E.A. **Oilseed crops**. London: Longman, 1983. 660p.

WILLIAMS, J. H. **Use of sewage on agricultural land and the effects of metals on crops**. In: Water Pollut Control, v.74, 1975. p. 635-44.

ANEXOS

ANEXO A

TABELA A.1 – Resultados das análises de cátions e ânions presentes na água e no efluente utilizado na irrigação, Aquiraz, Ce, 2005.

| Cátions (mg/L) | | | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Amostras | Ca²⁺ | Mg²⁺ | Na⁺ | K⁺ | Total |
| Água | 10 | 8,5 | 16,1 | 3,9 | 38,5 |
| Efluente | 30 | 19,4 | 66,7 | 19,5 | 135,6 |
| Ânions (mg/L) | | | | | |
| Amostras | Cl⁻ | SO₄²⁻ | HCO₃²⁻ | CO₃²⁻ | Total |
| Água | 56,8 | | 9,15 | | 65,95 |
| Efluente | 149,1 | | 18,3 | 48 | 215,4 |

ANEXO B

TABELA B.1 – Adubação utilizada nos tratamentos da mamona, Aquiraz, 2005.

| Tratamentos | Plantio | | | | Cobertura | | |
|-------------|------------------|----------------------------------|--------------|-------------------------|---|----------------------------------|---------------------|
| | Formulação (NPK) | Quantia de cada Produto/cova (g) | FTE BR12 (g) | Correção: Calcário + MO | Produto | Quantia de cada Produto/cova (g) | Dias Após o plantio |
| 1 | 10-28-20 | 150/20 | 20 | 50g+5L | Sulfato de amônio e sulfato de potássio | 50/50 | 30/60/90 |
| 2 | | 150 | | | | 50/50 | |
| 3 | | 75 | | | | 25/25 | |
| 4 | | 75 | | | | 25/25 | |

Legenda: FTE BR12 = fritas (micronutrientes); MO = matéria orgânica (esterco); NPK = nitrogênio, fósforo e potássio; tratamentos : 1 = água + adubo; 2 = esgoto + adubo; 3 = esgoto e 4 = esgoto + 1/2 adubo.

ANEXO C

TABELA C.1- Dados da media mensal da precipitação e evaporação no período do experimento. Aquiraz, CE, 2005.

| Mês / ano | Dias com precipitação > 8mm. | Fatores climáticos | |
|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------|
| | | Precipitação (mm) | Evaporação (mm) |
| Fevereiro/ 05 | 2 | 24,6 | - |
| Março/ 05 | 8 | 157,4 | - |
| Abril/ 05 | 9 | 175,4 | - |
| Maió/ 05 | 8 | 275,8 | - |
| Junho/ 05 | 6 | 155,0 | 19,88 |
| Julho/ 05 | 3 | 58,4 | 19,64 |
| Agosto/ 05 | 0 | 10,4 | 167,2 |

Fonte: Dados do pluviômetro e do tanque classe A instalados na área do Experimento, Aquiraz, Ceará, 2005.

Legenda: (-): fator climático não analisado.

Na tabela B.2 está apresentado o balanço pluviométrico nos últimos 31 anos da cidade de Aquiraz, comparado ao índice de precipitação ocorrido na período do experimento, em 2005.

TABELA C.2 – Balanço pluviométrico da média histórica nos últimos 31 anos. Aquiraz, CE, 2005.

| Mês/ 2005 | Unidade (mm) | | |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Normais climatológicos* (1964-1996) | Precipitação (Fev – agos, 2005) | Precipitação Excedente |
| Fevereiro | 194,2 | 24,6 | - |
| Março | 316,2 | 157,4 | - |
| Abril | 321,3 | 175,4 | - |
| Maió | 231,9 | 275,8 | 43,9 |
| Junho | 162,9 | 155,0 | - |
| Julho | 90,4 | 58,4 | - |
| Agosto | 20,4 | 10,4 | - |

Fonte: FUNCEME; *Média histórica.

Legenda: (-): precipitação abaixo da média histórica.