

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Cley Anderson Silva de Freitas

**ESTUDO COMPARATIVO DO USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E
ÁGUA DE POÇO FREÁTICO NA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS DESTINADAS À
PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

**FORTALEZA
2011**

CLEY ANDERSON SILVA DE FREITAS

**ESTUDO COMPARATIVO DO USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E
ÁGUA DE POÇO FREÁTICO NA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS DESTINADAS À
PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

Tese submetida à coordenação do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra

**FORTALEZA
2011**

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

F936e

Freitas, Cley Anderson Silva de.

Estudo comparativo do uso de esgoto doméstico tratado e água de poço freático na irrigação de culturas destinadas à produção de biocombustível / Cley Anderson Silva de Freitas. – 2011.
296 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2011.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

1. Água - Reutilização. 2. *Helianthus*. 3. *Saccharum*. 4. Águas residuais. 5. Irrigação. I. Título.

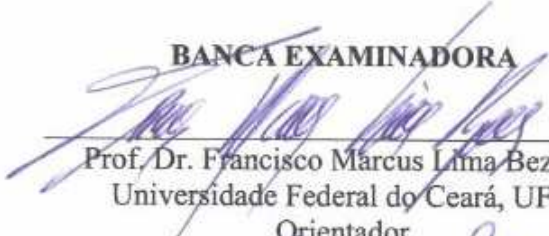
CLEY ANDERSON SILVA DE FREITAS

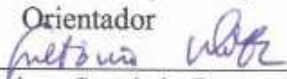
**ESTUDO COMPARATIVO DO USO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E
ÁGUA DE POÇO FREÁTICO NA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS DESTINADAS À
PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

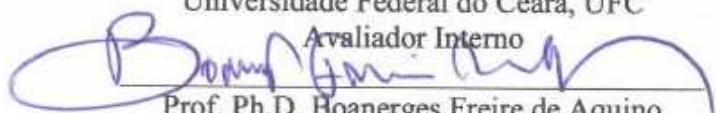
Tese submetida à coordenação do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e drenagem.

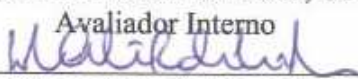
Aprovada em: 15 de Dezembro de 2011.

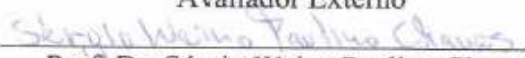
BANCA EXAMINADORA


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


Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará, UFC
Avaliador Interno


Prof. Ph.D. Boanerges Freire de Aquino
Universidade Federal do Ceará, UFC
Avaliador Interno


Prof. Dr. Marco Antonio Rosa de Carvalho
Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia, IFCE - Sobral
Avaliador Externo


Prof. Dr. Sérgio Weine Paulino Chaves
Universidade Federal Rural do Semiárido, UFRSA
Avaliador Externo

DEDICO a DEUS, aos meus pais Lima e Cleuza pelos ensinamentos de toda minha vida. A minha esposa Isabella Freitas pela parceria incondicional, paciência e amor.

OFEREÇO à minha graciosa esposa Isabella Freitas pelo apoio incontestável, cooperação e amor. Aos meus irmãos Claisa, André, Drica, Luiz Neto, Hans, Sidney e Paula, pela amizade, colaboração, apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, por todos os obstáculos e ensinamentos, pela proteção e oportunidades de minha vida.

À Universidade Federal do Ceará pelos ensinamentos prestados durante 10 anos de minha vida acadêmica (Graduação, Mestrado e Doutorado).

Ao Departamento de Engenharia Agrícola por proporcionar a oportunidade de cursar o doutorado.

Ao professor orientador Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra pelo incentivo, apoio, amizade e dedicada orientação na elaboração e execução deste trabalho.

Aos professores, Suetônio Mota (UFC) e Boanerges de Aquino (UFC) pela orientação prestativa, fornecida durante a elaboração deste trabalho. A professora Luciana do Curso de Engenharia Química da UFC pelo apoio e disponibilidade para realização das fermentações da cana.

A todos os professores do Centro de Ciências Agrárias por compartilharam seus conhecimentos, em especial aos professores Adunias, Nonato, Renato, Moreira, Talles, Daniel pelos ensinamentos repassados.

Ao amigo estudante e pesquisador Alexandre Reuber pelo apoio e incentivo em todas as etapas deste trabalho.

Aos bolsistas e amigos Ricardo, Gean, George, Alan, Emanuel pelo apoio na execução deste trabalho.

Aos amigos Prof. Dr. Eng. Civil André Freitas (UFC), Tecnólogo em Irrigação Alexandre Sales (CENTEC), Físico Firmino Canafistula, Prof. Vladimir (IFCE) e Prof. Clemilton (IFCE) pela ajuda técnica na execução deste trabalho.

A CAGECE pelo apoio estrutural para realização desta pesquisa.

A YPIÓCA Agroindústria LTDA pela parceria, fornecimento de cana sementes e conhecimentos.

Ao Sr. Mauricio Lima Castro, pelo apoio e ensinamentos prestados para execução desta pesquisa.

A todos os amigos do Departamento de Engenharia Agrícola por compartilharem seus conhecimentos e ao ilustre secretário da pós-graduação Jacó.

Ao Instituto Federal de Educação do Ceará (IFCE) e meus amigos pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos e amigas, e a TODOS que contribuíram, de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

RESUMO

Diante da importância da conservação do meio ambiente para o bem estar da sociedade mundial, tem-se cobrado o uso sustentável dos recursos naturais. Desta forma, a busca por fontes energéticas renováveis tem sido intensificada, o que torna os biocombustíveis uma estratégia de energia ecologicamente correta. Culturas como o girassol (oleaginosa) e cana-de-açúcar (açucareira) têm sido indicadas para produção de biocombustível, porém o uso demorado de água e nutrientes para a produção agrícola tem comprometido a sustentabilidade destas fontes energéticas. Portanto, o reúso de água na produção agrícola como fonte hídrica e nutricional para as plantas tem sido uma estratégia econômica, ecológica e social. Desse modo, foram conduzidos dois experimentos, durante os anos de 2009 a 2010 com a cultura do girassol, e 2010 a 2011 com a cultura de cana-de-açúcar. O trabalho com a cultura do girassol teve por objetivo avaliar o crescimento vegetativo, produtivo e balanço energético de biodiesel da cultura irrigada com dois tipos de água, sob cinco lâminas de irrigação e quatro doses de nitrogênio. O experimento com cana teve por objetivo analisar as variáveis vegetativas, produtivas e o balanço energético da produção de etanol de cana irrigada com dois tipos de água e sob cinco lâminas de irrigação. Os trabalhos foram conduzidos no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, pertencente à Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE), localizado no município de Aquiraz, região metropolitana de Fortaleza. No experimento com girassol, a cultura foi irrigada com dois tipos de água (água de poço freático e esgoto doméstico tratado), cinco lâminas: L1 = 25%; L2 = 50%; L3 = 75%; L4 = 100% e L5 = 100% da evaporação do tanque Classe “A” (ECA) e quatro doses de nitrogênio 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹. A irrigação com esgoto doméstico tratado promoveu maiores resultados das variáveis vegetativas. O aumento da disponibilidade hídrica proporcionou incremento das características vegetativas da cultura. O maior diâmetro do capítulo foi estimado para o girassol irrigado com esgoto doméstico tratado, com lâmina de irrigação referente a 125% da ECA e adubação nitrogenada de 75 kg ha⁻¹. Para as variáveis de produção também foram verificados melhores resultados para irrigação com esgoto. Tanto o aumento da disponibilidade hídrica como das doses de nitrogênio proporcionaram incremento das variáveis de produção. O maior balanço energético foi constatado para o girassol irrigado com esgoto 1:1,36 estimado com os tratamentos L3N1. No experimento com cana-de-açúcar foram testados dois tipos de água de irrigação e cinco lâminas de irrigação L1 = 50%; L2 = 75%; L3 = 100%; L4 = 125% e L5 = 150% da ECA. O esgoto doméstico proporcionou maiores resultados das variáveis vegetativas e produtivas. O aumento da disponibilidade hídrica promoveu incrementos das variáveis vegetativas e produtivas. As lâminas de irrigação de 937,6 mm e 764,2 mm são as mais indicadas para o cultivo de cana sob irrigação com água de poço e esgoto, respectivamente, visando à produção de álcool. De acordo com o balanço energético, as lâminas de irrigação referentes a 150% e 125% da ECA são as mais recomendadas para se obter maiores eficiências energéticas quando se irriga com água de poço e esgoto, respectivamente. O esgoto doméstico tratado é uma fonte hídrica ecologicamente sustentável para a irrigação da cana-de-açúcar destinada à produção de biocombustível.

Palavras-chave: Reúso de água, *Helianthus annuus* L., *Saccharum officinarum*

ABSTRACT

Given the importance of environmental conservation for the welfare of society worldwide, has been charged the sustainable use of natural resources. Thus, the search for renewable energy sources has intensified. What makes biofuels an ecologic energy strategy. Crops such as sunflower (oilseed) and sugar cane (sugar) has indicated to produce biofuel, but the overuse of water and nutrients for agricultural production has compromised the sustainability of these energy sources. Then, the water reuse in agricultural production as a source of water and nutrients to the plants has been an economic, ecological and social strategy. Two experiments were conducted, during the years 2009 to 2010 with sunflower crop and from 2010 to 2011 with the sugar cane crop. Working with sunflower crop was evaluated the vegetative growth, production and energy balance of biodiesel to crop irrigated with two types of water under five irrigation levels and four nitrogen doses. The experiment with sugar cane crop aimed to analyze the variables vegetative, productive and energy balance of ethanol production to sugar cane irrigated with two types of water and under five irrigation levels. The work was carried at the Research Center on Wastewater Treatment and Reuse, belong to the Water and Sewage Company of Ceará (CAGECE), located in the city of Aquiraz, metropolitan region of Fortaleza. In the experiment with sunflowers, the crop was irrigated with two types of water (well water and sewage water), five levels: (L1 = 25%; L2 = 50%; L3 = 75%; L4 = 100% and L5 = 125%) of the evaporation of Class "A" PAN and four nitrogen levels 25, 50, 75 and 100 kg ha⁻¹. The irrigation with sewage water showed us the highest results to vegetative variables. Increased water availability provided increases of vegetative characteristics of the crop. There was a meaningful interaction of irrigation levels and nitrogen doses for diameter of the chapter (L3N3). Was observed better results to the production variables for irrigation with sewage water. Both the increase in water availability as the levels of nitrogen provided increase of production variables. The highest energy balance was observed in the sunflower irrigated with sewage water 1:1.36 estimated L3N1 treatments. In the experiment with sugar cane were tested two types of irrigation water and five irrigation levels: (L1 = 50%; L2 = 75%; L3 = 100%; L4 = 125% and L5 = 150%) of ECA. The domestic sewage has provided more variable results vegetative and productive. Increased water availability promoted increments of vegetative and productive variables. The irrigation levels of 937.6 mm and 764.2 mm are the most suitable for the sugar cane crop under irrigation with well water and sewage water respectively for ethanol production. Observing the energy balance the irrigation levels 150% and 125% of ECA are the most recommended to achieve higher energy efficiencies when irrigating with well water and sewage water, respectively. The treated sewage is an ecologically sustainable water source for irrigation of sugar cane for biofuel production.

Keywords: reuse water, *Helianthus annus L.*, *Saccharum officinarum*.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

- Figura 1 - Localização da área experimental (imagem obtida pelo google mapas). Aquiraz, Ceará, 2009.....94
- Figura 2 – Ilustração da Estação de Tratamento da CAGECE com detalhes de alguns componentes. (a) Estação de tratamento preliminar, (b) tubulações de chegada de esgoto doméstico, (c) local de limpeza da caixa de areia, (d) Detalhe da caixa de areia, (e) Calha Parshal, (f) água esgoto doméstico bruto, (g) esgoto na lagoa anaeróbia, (h) esgoto tratado em lagoa facultativa. ETE, Aquiraz, CE, 201097
- Figura 3 - Imagem do rio Pacutí e das lagoas anaeróbia, facultativa e maturação da ETE de Aquiraz, CE, 200998
- Figura 4 – Foto dos aquênios do girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar Mutissol.....99
- Figura 5 – Foto da subparcela, detalhes das quatro linhas com mesmo tratamento de lâmina de irrigação e em destaque foto ilustrativa da fita azul simbolizando a mudança de tratamento da dose de nitrogênio100
- Figura 6 – Croqui da área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2009.101
- Figura 7 - Detalhes do sistema de irrigação; duas cisternas, uma para cada tipo de água (A); cabeçal de controle (B); cavaletes (C); gotejador (D), ETE, Aquiraz, CE, 2010102
- Figura 8 – Foto ilustrativa do tanque Classe “A” instalado na área experimental utilizado para o manejo da irrigação. ETE, Aquiraz, CE, 2009104
- Figura 9 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento no período de 09/11 de 2009 a 9/02 de 2010 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, Aquiraz, CE, 2010.105
- Figura 10 – Foto da medição da altura da planta na área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2010.107
- Figura 11 – Fotos com detalhes da medição do diâmetro do capítulo com paquímetro digital. ETE, Aquiraz, CE, 2010.108

Figura 12 – Foto com foco na medição do diâmetro do capítulo com trena flexível. ETE, Aquiraz, CE, 2010.	109
Figura 13 - Altura da planta do girassol, irrigada sob diferentes fontes hídricas, água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (E) em função de diferentes lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2009.	112
Figura 14 - Diâmetro da planta do girassol, irrigada sob diferentes fontes hídricas, água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (E) em função de diferentes lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2009.	113
Figura 15 - Superfície de resposta do diâmetro do capítulo do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiráz, CE, 2009.	119

CAPITULO 3

Figura 1 – Foto dos aquênios antes (a) e pós beneficiamento (b). Deatálhes da máquina utilizada no beneficiamento: porta de alimentação (c), gaveta de limpeza (d), saída do material beneficiado (e), peça acoplável para separar aquênios das impurezas (f). UFC, Fortaleza, CE, 2009.	134
Figura 2 – Foto da pesagem dos aquênios, UFC, Fortaleza, CE, 2010.	135
Figura 3 – Foto da pesagem da massa de mil aquênios (g), UFC, Fortaleza, CE, 2010.	136
Figura 4 – Esquema do sistema utilizado para determinação do teor de óleo dos aquênios: tempo de banho, temporizador, (a); tubo recuperador do hexano (b); reboiler com amostra de aquênios macerado (c); controlador de temperatura do sistema (d) . UFC, Fortaleza, CE, 2010.	138
Figura 5 - Superfície de resposta da massa do capítulo do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.....	144
Figura 6 - Superfície de resposta da massa de aquênios por capítulo do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.....	149

Figura 7 - Superfície de resposta da massa de mil aquênios (g) do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B), sob cinco lâminas de irrigação e quatro doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.....	154
Figura 8 - Superfície de resposta do potencial produtivo (kg ha ⁻¹) do girassol irrigado com água de poço freático (A) e esgoto (B) sob cinco laminas de irrigação e quatro doses nitrogenadas. Aquiraz, Ce, 2010.....	160
Figura 9 - Superfície de resposta do potencial produtivo de óleo (kg ha ⁻¹) do girassol irrigado com água de poço freático (A) e doméstico tratado (B) em função aos níveis de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.....	168

CAPITULO 4

Figura 1 - Dispendio energético para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigados com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.	190
Figura 2 - Superfície de resposta do potencial produtivo de biodiesel para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigados com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.	193
Figura 3 - Rendimento energético para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigado com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.....	196
Figura 4 - Balanço energético para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigados com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.	200

CAPITULO 5

Figura 1 – Croqui da área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2010.....	211
Figura 2 – Foto ilustrativa do plantio da cana na área experimental. ETE, Aquiraz, CE, 2010.	214

Figura 3 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento no período de 09/11 de 2009 a 9/02 de 2010 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, Aquiraz, CE, 2011.	216
Figura 4 – Fotos com detalhes da medição do diâmetro do colmo com paquímetro digital. ETE, Aquiraz, CE, 2010.	217
Figura 5 - Foto ilustrativa da marcação com duas estacas, para determinação do número de plantas por metro linear. Aquiraz, CE, 2010.....	218
Figura 6 – Foto da medição da altura da planta na área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2010.	219
Figura 7 - Gráfico do diâmetro de colmo de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.	223
Figura 8 - Diâmetro do colmo de cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, para água de poço artesiano (DCAP) e água de efluente (DCAE) aos 328 DAP. Aquiraz, CE, 2010/2011.....	224
Figura 9 - Gráfico da altura de planta de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.....	227
Figura 10 - Altura da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, para água de poço artesiano (DCAP) e água de efluente (DCAE) aos 328 DAP. Aquiraz, CE, 2010/2011.	228
Figura 11 - Gráfico de comprimento de colmo de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.	231
Figura 12 - Gráfico de comprimento de colmo de cana-de-açúcar irrigado com água de poço freático (ACAP) e esgoto doméstico tratado (ACAE) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2010/2011	232
Figura 13 - Gráfico do número de colmos por metro linear de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.	235

CAPÍTULO 6

- Figura 1 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento no período de maio de 2010 a 7 de agosto de 2011 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, Aquiraz, CE.247
- Figura 2 - Foto ilustrativa da pesagem do colmo para se determinar a massa média de colmos, ETE, Aquiraz, CE, 2011.249
- Figura 3 - Foto ilustrativa da determinação do °Brix da cana-de-açúcar, ETE, Aquiraz, CE, 2011.249
- Figura 4 - Foto dos equipamentos envolvidos nas etapas para fermentação do caldo de cana, Laboratório de Bioengenharia, UFC, Fortaleza, CE, 2011.250
- Figura 5 - Foto das amostras de colmo para determinação da matéria seca em estufa a 60°C.252
- Figura 6 - Potencial produtivo de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, para água de poço freático (AP) e esgoto (E). Aquiraz, CE, 2011.256
- Figura 7 - Densidade de plantas por hectare em função das lâminas de irrigação, para água de poço freático (AP) e esgoto (E). Aquiraz, CE, 2011..... 258
- Figura 8 - Potencial produtivo de álcool por hectare em função das lâminas de irrigação, para água de poço freático (AP) e esgoto (E). Aquiraz, Ceará, 2011..... 262

CAPÍTULO 7

- Figura 1 - Dispendio energético (entrada de energia no sistema) para obtenção do etanol, cultivo, transporte e processamento industrial, da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, Ceará, 2011.284
- Figura 2 - Saída de energia do sistema ou produção energética do etanol de cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, Ceará, 2010/2011.....287

Figura 3 - Balanço de energia do etanal de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2010/2011.....290

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Qualidade microbiológica de águas residuárias para uso na agricultura.....	46
Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluente.	47

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Atributos físico-hídricos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009.....	96
Tabela 2 - Atributos químicos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009.	96
Tabela 3 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, CE.	97
Tabela 4 - Atributos da água de poço freático e esgoto usada na irrigação do girassol. Aquiraz, CE, 2009.	98
Tabela 5 - Resumo da análise da variância para os dados de altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e diâmetro do capítulo (DCP) do girassol cultivado sob dois tipos de água irrigação (A), cinco lâminas de irrigação (L) e quatro doses de adubação nitrogenada (N). Aquiraz, CE, 2009.	110
Tabela 6 - Altura média das plantas em função dos tipos de água de irrigação.	111
Tabela 7 - Diâmetro médio do caule do girassol em função dos tipos de água de irrigação. Aquiráz, CE, 2009.	113
Tabela 8 - Número de folhas por planta do girassol em função dos tipos de água de irrigação. Aquiraz, CE, 2009.	114
Tabela 9 - Médias de diâmetro do capítulo (DC) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e Níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2009.	116
Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para diâmetro do capítulo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiraz, CE, 2009.	118

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Atributos físico-hídricos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009.....	131
Tabela 2 - Atributos químicos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009.	132
Tabela 3 - Características químicas da água utilizada no experimento Aquiraz, CE, 2009.	133
Tabela 4 - Resumo da análise da variância para os dados de massa do capítulo (MC), massa de aquênios por capítulo (MA), massa de mil aquênios (M1000A), potencial produtivo de grãos (PP), teor de óleo (TO) e potencial produtivo de óleo (PPO) do girassol sob dois tipos de água de irrigação (A), cinco lâminas de irrigação (L) e quatro doses de nitrogênio (N). Aquiráz, CE, 2010.	139
Tabela 5 - Médias das massas do capítulo (MC) em função de dois tipos de água para irrigação, cinco lâminas de irrigação e quatro doses de adubação nitrogenada. Aquiraz, CE, 2010.	141
Tabela 6 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para massa do capítulo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiraz, CE, 2010.	141
Tabela 7 - Médias da massa de aquênios por capítulo (MA) em função de dois tipos de água para irrigação, cinco lâminas de irrigação e quatro doses de adubação nitrogenada. Aquiraz, CE, 2010.	146
Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para massa de aquênios por capítulo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010.	147
Tabela 9 - Médias da massa de aquênios por planta (MA) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e Níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2010.	151
Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para massa de mil aquênios, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010.	152
Tabela 11 - Médias do potencial produtivo de colmo (PP) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2010.	156
Tabela 12 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o potencial produtivo de colmo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010.	157

Tabela 13 - Médias do potencial produtivo de óleo (PPO) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e Níveis de irrigação (N)..	163
Tabela 14 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o potencial produtivo de óleo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010.	164

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, CE.	180
Tabela 2 - Componentes de entradas energéticas estimadas para a construção da estação de tratamento de esgoto ETE de Aquiraz.	181
Tabela 3 - Componentes de entradas energéticas consideradas fixas, estimados para o cultivo de 1 hectare de girassol, Aquiraz, CE, 2009/2010.	184
Tabela 4 - Componentes de entradas energéticas estimadas em função da obtenção e distribuição das fontes hídricas: água de poço freático (AP) e esgoto doméstico tratado (E), Aquiraz, CE, 2009/2010.	185
Tabela 5 - Componentes de entradas energéticas estimadas em função das lâminas de irrigação.	185
Tabela 6 - Resumo da análise da variância para os dados de dispêndio energético (DISP), saída de energia (SAID) e balanço energético (BAL) do girassol cultivado sob dois tipos de água (A), cinco lâminas irrigação (L) e quatro doses de adubação nitrogenada (N). Aquiraz, CE, 2009/2010.	187
Tabela 7 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o dispêndio de energia, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010.	188
Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o potencial produtivo de biodiesel, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010.	191
Tabela 9 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a saída de energia, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010.	194

Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) balanço de energia, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010.	198
--	-----

CAPÍTULO 5

Tabela 1 - Características físico-hídricas do solo da área experimental em Aquiraz-CE, 2010.	210
Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010.....	210
Tabela 3 - Características da água de poço e do esgoto usados na irrigação das parcelas de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L), Aquiraz, CE, 2010.	213
Tabela 4 – Análise de variância para a variável diâmetro do colmo da cana-de-açúcar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função a dois tipos de água de irrigação: água de poço freático e esgoto doméstico tratado (A) e diferentes níveis de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2010/2011.	221
Tabela 5 – Diâmetro médio do colmo de cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, conforme evaporação do Tanque Classe “A”. Aquiraz, CE, 2010/2011.	222
Tabela 6 - Resumo das análises de variâncias para a variável altura da planta de cana-de-açúcar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função dos dois tipos de água de irrigação, água de poço freático e esgoto doméstico tratado(A) e diferentes níveis de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2010/2011.	225
Tabela 7 – Altura média de planta de cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, baseada na evaporação do Tanque Classe “A”. Aquiraz, CE, 2010/2011.....	226
Tabela 8 - Resumo da análise da variância para o comprimento do colmo de cana-de-açúcar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função a dois tipos de água de irrigação, água de poço freático e esgoto doméstico tratado (A) e diferentes níveis de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2010/2011.	229
Tabela 9 – Comprimento médio do colmo da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, baseada na evaporação do Tanque Classe “A”. Aquiraz, CE, 2010/2011.	230
Tabela 10 - Resumo da análise da variância para o número de plantas por metro linear (NP) de cana-de-açúcar cultivada sob dois tipos de água de irrigação, poço freático e esgoto (A) e cinco lâminas de irrigação (B). Aquiriza, CE, 2010/2011.	234

CAPÍTULO 6

Tabela 1 - Características físico-hídricos do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010.	245
Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010. ...	245
Tabela 3 - Características da água de poço e do esgoto usados na irrigação das parcelas de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L), Aquiraz, CE, 2010.	246
Tabela 4 - Resumo da análise da variância para os dados de potencial produtivo (PP), densidade de plantas (DP), °Brix (BX) e potencial produtivo de álcool (PPA) de cana-de-açúcar sob dois tipos de água de irrigação (A) e cinco lâminas de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2011.	253
Tabela 5 - Médias de potencial produtivo (PP) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de água (L) . Aquiraz, CE, 2011.	254
Tabela 6 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PP, em função das lâminas de irrigações. Aquiraz, CE, 2011.	255
Tabela 7 - Médias de densidade de plantas (DP) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de água (L). Aquiraz, CE, 2011.	257
Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a DP, em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011.	257
Tabela 9 - Médias de sólidos solúveis totais (Brix) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de água (L). Aquiraz, CE, 2011.	259
Tabela 10 - Médias de potencial produtivo de álcool (PPA) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2011.....	261
Tabela 11 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PPA, em função das lâminas de irrigações. Aquiraz, CE, 2011.	261

CAPÍTULO 7

Tabela 1 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, CE.	273
Tabela 2 - Componentes de entradas energéticas estimadas para a construção da estação de tratamento de esgoto ETE de Aquiraz.	274

Tabela 3 - Consumo de energia, na forma de óleo diesel combustível, em operações agrícolas para renovação e manutenção do canavial ao longo de um ciclo de produção de cana-de-açúcar no Brasil.	275
Tabela 4 - Componentes de entradas energéticas consideradas fixas, estimados para o cultivo de 1 hectare de cana. Aquiraz, CE, 2010/2011.	278
Tabela 5 - Componentes de entradas energéticas estimadas em função da obtenção e distribuição das fontes hídricas (água de poço freático (AP) e esgoto doméstico tratado (E)). Aquiraz, CE, 2011.	279
Tabela 6 - Componente de entradas energéticas do transporte de cana-de-açúcar em função das fontes hídricas (água de poço freático (AP) e esgoto doméstico tratado (E)) e lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011.	280
Tabela 7 - Resumo da análise da variância para os dados de dispêndio energético (DISP), saída de energia do sistema (SAID) e Balanço energético (BAL) de cana-de-açúcar sob dois tipos de água de irrigação (A) e cinco lâminas de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2011.	282
Tabela 8 – Dispêndio energético (entrada de energia no sistema) com etapas para obtenção do etanol, cultivo, transporte e industrialização da cana irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) sob cinco lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011..	283
Tabela 9 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PP, em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011.	284
Tabela 10 – Saída de energia do sistema, obtida com etanol de cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) sob cinco lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011.	286
Tabela 11 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PP, em função das lâminas de irrigações. Aquiraz, CE, 2011.	286
Tabela 12 – Balanço de energia do etanol de cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) sob cinco lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011..	288
Tabela 13 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PP, em função das lâminas de irrigação.	289

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	27
2	REVISÃO DE LITERATURA	29
2.1	Biocombustíveis	29
2.1.1	Definição	29
2.1.2	Histórico	29
2.1.3	Insentivos.....	30
2.1.4	Vantagens e Limitações.....	31
2.1.5	Biodiesel	32
2.1.6	Etanol.....	34
2.2	Água	35
2.2.1	Importância da água para as plantas	35
2.3	Irrigação	36
2.3.1	Qualidade da água de irrigação	37
2.3.2	Irrigação localizada.....	38
2.3.3	Manejo da irrigação	40
2.3.4	Tanque Classe “A”	41
2.4	Água de reúso	43
2.4.1	O reúso e a sustentabilidade	43
2.4.2	Estações de tratamento de esgoto do Ceará.....	44
2.4.3	Classificação e legislação para água residuária.....	45
2.4.4	Legislação Federal	46
2.4.5	Legislação Estadual	48
2.5	Reúso de água na agricultura	48
2.5.1	Vantagens do reúso de água na agricultura	50
2.5.2	Desafios do uso de águas residuárias na agricultura	51
2.5.2.1	Quanto aos corpos hídricos	51
2.5.2.2	Quanto ao solo	52
2.5.2.3	Quanto à saúde pública.....	52
2.5.2.4	Quanto às culturas	53
2.5.2.5	Quanto ao sistema de irrigação localizado	53
2.6	O girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	54

2.6.1	Histórico, origem e dispersão	54
2.6.2	Classificação botânica, morfológica e fisiológica	55
2.6.3	Exigências climáticas e edáficas.....	56
2.6.4	Variáveis agronômicas	56
2.6.5	Multissol	58
2.6.6	Exigências nutricionais.....	58
2.6.6.1	Adubação nitrogenada	59
2.6.7	Exigência hídrica do girassol.....	60
2.6.8	Esgoto doméstico na irrigação do girassol	62
2.7	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	62
2.7.1	Histórico, origem e dispersão	62
2.7.2	Classificação botânica, morfológica e fisiológica	63
2.7.3	Exigências climáticas e edáficas.....	64
2.7.4	Principais produtores e potencialidade da cultura	65
2.7.5	Variáveis agronômicas	65
2.7.6	A variedade SP 71 6949	66
2.7.7	Exigências nutricionais.....	67
2.7.7.1	Nitrogênio.....	67
2.7.8	Exigência hídricas da cana-de-açúcar.....	68
2.7.9	Reúso de água.....	69
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

CAPITULO 2: Desenvolvimento do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado:

Substituição parcial do nitrogênio comercial.....89

1	INTRODUÇÃO	91
2	MATERIAL E MÉTODOS	94
2.1	Localização e caracterização ambiental da área experimental.....	94
2.2	Clima.....	95
2.3	Solo.....	95
2.4	Água para irrigação	96
2.5	Cultura.....	99
2.6	Delineamento experimental e tratamentos.....	99

2.7	Adubação utilizada	101
2.8	Sistema e manejo da irrigação.....	102
2.9	Instalação e condução da cultura	103
2.9.1	Preparo da área	103
2.9.2	Semeadura e desbaste	103
2.9.3	Manejo da irrigação	103
2.9.4	Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários.....	106
2.10	Variáveis analisadas	106
2.10.1	Altura de plantas	106
2.10.2	Diâmetro de caule	107
2.10.3	Número de folhas por planta	107
2.10.4	Diâmetro de capítulos	108
2.11	Análise estatística	109
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
3.1	Altura da planta.....	110
3.2	Diâmetro do caule	112
3.3	Número de folhas	114
3.4	Diâmetro do capítulo	115
4	CONCLUSÃO.....	122
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

CAPITULO 3: Uso do esgoto doméstico tratado como alternativa de água e nitrogênio para produção do girassol..... 127

1	INTRODUÇÃO	129
2	MATERIAL E MÉTODOS	131
2.1	Variáveis analisadas	134
2.1.1	Massa do Capítulo	134
2.1.2	Massa de aquênios	135
2.1.3	Massa de 1000 aquênios	135
2.1.4	Potencial de produção de aquênios.....	136
2.1.5	Teor de óleo dos aquênios	136
2.2	Análise estatística.....	138

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	139
3.1	Massa do capítulo	140
3.2	Massa de aquênios	145
3.3	Massa de mil aquênios.....	150
3.4	Potencial produtivo	155
3.5	Teor de óleo	160
3.6	Potencial Produtivo de óleo	162
4	CONCLUSÃO.....	168
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169

CAPITULO 4: Análise energética do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado para produção de biocombustível **174**

1	INTRODUÇÃO	176
2	MATERIAL E MÉTODOS	178
2.1	Componentes energéticos.....	180
2.1.1	Estação de tratamento de Esgoto ETE.....	180
2.1.2	Dispêndio considerado fixo para o preparo da área, plantio, condução da cultura e colheita do Girassol	182
2.1.2.1	Trabalho humano.....	182
2.1.2.2	Trator e Gradagem.....	182
2.1.2.3	Sementes.....	183
2.1.2.4	Fertilizantes	183
2.1.2.5	Sistema de irrigação.....	183
2.1.2.6	Transporte.....	183
2.1.3	Dispêndios considerados variáveis, de acordo com os tratamentos adotados....	184
2.1.3.1	Manejo da irrigação	184
2.1.3.2	Adubação nitrogenada	185
2.1.4	Processamento industrial	185
2.2	Saída de energia	186
2.3	Análise estatística.....	186
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	187
3.1	Dispêndio energético (Entrada de energia)	187

3.2	Potencial produtivo de biodiesel.....	191
3.3	Saída de energia.....	194
3.4	Balanco energético.....	197
4	CONCLUSÃO.....	201
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	202

**CAPITULO 5: Crescimento vegetativo de cana-de-açúcar (*saccharum officinarum* L.)
irrigada com esgoto doméstico tratado..... 206**

1	INTRODUÇÃO	208
2	MATERIAL E MÉTODOS	210
2.1	Adubação utilizada.....	212
2.2	Água de irrigação	212
2.3	Sistema e de irrigação.....	213
2.4	Instalação e condução da cultura.....	213
2.4.1	Preparo da área e plantio	213
2.4.2	Manejo da irrigação	214
2.4.3	Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários	216
2.4.4	Variáveis analisadas	217
2.4.4.1	Diâmetro de colmo	217
2.4.4.2	Número de plantas por metro linear	217
2.4.4.3	Altura de plantas e colmo	218
2.5	Análise estatística.....	219
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	220
3.1	Diâmetro Colmo.....	220
3.2	Altura planta.....	224
3.3	Comprimento do colmo.....	228
3.4	Número de plantas por metro linear.....	232
4	CONCLUSÃO.....	237
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	238

CAPITULO 6: Uso de esgoto doméstico tratado como fonte hídrica alternativa para produção da cana-de-açúcar241

1	INTRODUÇÃO	243
2	MATERIAL E MÉTODOS	245
2.1	Variáveis analisadas	248
2.1.1	Densidade de plantas por hectare (DP).....	248
2.1.2	Potencial produtivo de colmo (PP).....	248
2.1.3	Sólidos solúveis totais do caldo (°Brix).....	249
2.1.3	Potencial produtivo de álcool (PPA)	250
2.2	Análise estatística.....	252
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	253
3.1	Potencial Produtivo	253
3.2	Densidade de plantas	256
3.3	Sólidos Solúveis totais - °Brix	259
3.4	Potencial produtivo de álcool	260
4	CONCLUSÃO.....	263
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	264

CAPITULO 7: Análise energética da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado para produção de etanol.....267

1	INTRODUÇÃO	269
2	MATERIAL E MÉTODOS	271
2.1	Componentes energéticos.....	273
2.1.1	Estação de tratamento de Esgoto ETE.....	273
2.1.2	Dispêndio considerado fixo para o preparo da área, plantio, condução da cultura e colheita da cana-de-açúcar:	275
2.1.2.1	Operações Agrícolas.....	275
2.1.2.2	Trabalho humano	276
2.1.2.3	Cana-semente.....	276
2.1.2.4	Fertilizantes	276
2.1.2.5	Sistema de irrigação.....	276

2.1.2.6	Transporte.....	277
2.1.3	Dispêndios considerados variáveis, de acordo com os tratamentos adotados....	278
2.1.3.1	Manejo da irrigação	278
2.1.4	Processamento industrial	279
2.2	Saída de energia	280
2.3	Balanco de energia.....	280
2.4	Análise estatística.....	281
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	282
3.1	Entrada de energia no sistema ou dispêndio energético (DISP)	282
3.2	Saída de energia do sistema ou rendimento energético (SAID)	285
3.4	Balanco energético	287
4	CONCLUSÃO.....	291
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	292

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Ao passar dos anos a preocupação com o meio ambiente e o bem estar social tem se intensificado. As evidências atmosféricas como aumento da temperatura, inundações e secas mais frequentes em decorrência da poluição atmosférica, aliadas às grandes vazões de esgotos devido ao aumento demográfico, tem despertado na sociedade mundial senso crítico sobre sustentabilidade.

É de senso comum que a emissão de CO₂ por fábricas e veículos é o principal desafio para a redução da emissão de gases poluentes. Já que estes, em grande parte, utilizam energias não renováveis, combustíveis fósseis, que ao produzirem energia emitem grandes quantidades de gases poluentes para a atmosfera. Diante do desafio em aumentar a demanda energética mundial e diminuir as emissões de CO₂ para atmosfera, têm-se intensificado pesquisas direcionadas à produção de biocombustíveis (SILVA; FREITAS, 2008).

Assim como os combustíveis fósseis, durante a combustão dos biocombustíveis, derivados de plantas oleaginosas (biodiesel) ou de plantas açucareiras (etanol), também há a liberação de CO₂ para a atmosfera. Porém, durante o ciclo de vida das plantas, há a retirada de CO₂ da atmosfera pelo processo fotossintético, também conhecido como sequestro de carbono. Com isso, tem-se um equilíbrio entre a emissão e retirada de CO₂ da atmosfera.

Aproximadamente 70% da demanda hídrica é destinada à produção agrícola. Desta forma, a busca por culturas resistentes ao déficit hídrico e de ciclo curto, como o girassol, e de culturas com alto rendimento de biocombustível por unidade de área como a cana-de-açúcar, bem como a racionalização do manejo da irrigação e fontes alternativas de água podem ser estratégias para viabilizar de forma sustentável a produção de biocombustível.

O aumento da população gera conseqüentemente aumento dos resíduos. O despejo direto de esgotos domésticos sobre o meio ambiente pode disseminar doenças entre as pessoas e provocar desequilíbrio ambiental. Desta forma, reduzir a contaminação dos recursos hídricos, é um grande desafio. O uso do esgoto doméstico para produção agrícola tem sido pesquisado como fonte alternativa de água e nutriente, contribuindo para preservação do meio ambiente (VAN DER HOEK *et al.*, 2002).

O uso do esgoto doméstico tratado na produção de culturas destinadas para produção de biocombustíveis pode ser uma estratégia eficaz e ambientalmente correta, que resultaria em várias vantagens tais como: A redução da emissão de CO₂ e poluição dos recursos hídricos, aumento da disponibilidade hídrica, redução dos custos da produção agrícola com fertilizantes, aumento da renda e fixação do homem no campo. Diante da importância dos biocombustíveis e da utilização do reúso de água na produção agrícola, foram instalados dois experimentos com os seguintes objetivos gerais:

1. Avaliar o crescimento, a produção e o balanço energético do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado. Determinar a lâmina de irrigação e a dose de nitrogênio mais eficiente para produção de biodiesel. Avaliar a sustentabilidade do uso do esgoto doméstico tratado para produção do girassol destinado à produção de biodiesel, por meio do balanço energético.

2. Avaliar o crescimento, a produção e o balanço energético da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado. Determinar a lâmina de irrigação mais eficiente para produção de etanol. Avaliar a sustentabilidade do uso do esgoto doméstico tratado para produção da cana-de-açúcar destinada à produção de etanol, por meio do balanço energético.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biocombustíveis

2.1.1 Definição

Os biocombustíveis são combustíveis de origem biológica não fóssil, biodegradáveis, derivados de fontes renováveis, produzidos a partir da biomassa (matéria orgânica), produtos vegetais ou compostos de origem animal. As fontes mais conhecidas no mundo são: cana-de-açúcar, milho, soja, girassol, madeira e celulose. A partir destas fontes é possível produzir biocombustíveis, como etanol e biodiesel (PETROBRAS).

O biodiesel foi definido pela “National Biodiesel Board” dos Estados Unidos como derivado mono-alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores ciclo diesel (TAVARES *et al.*, 2006).

2.1.2 Histórico

O uso de biocombustíveis não é uma tecnologia inédita. Arqueólogos encontraram em sarcófagos egípcios, sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). O óleo extraído era utilizado para fins medicinais e combustíveis, e ainda para iluminação, há pelo menos 4.000 anos (OLSNES, 2004).

Em 1900, foi apresentado ao mundo na exposição internacional de Paris, um novo sistema de funcionamento de motor, chamado de “ciclo diesel”. O inventor alemão Rudolph Diesel levou o motor movido com óleo de amendoim e nas primeiras décadas do século XX foram utilizados óleos de várias outras espécies vegetais para seu funcionamento. Contudo, o alto custo de produção do óleo e a abundância de petróleo no início do século XX fizeram com que os óleos vegetais fossem substituídos pelo óleo refinado de petróleo, que então foi chamado de “óleo diesel”. Nas décadas de 30 e 40, óleos vegetais eram utilizados apenas em caso de emergência (MA; HANNA, 1999).

No Brasil, os primeiros testes foram realizados entre os anos de 1905 e 1925 com o álcool combustível. Com os bons resultados obtidos, em 1931 o governo brasileiro estabeleceu um decreto que obrigou a mistura de 5% de álcool na gasolina importada pelo país. Em 1938 o decreto-lei nº 737 estende a obrigatoriedade da mistura também à gasolina produzida no Brasil. A descoberta de extensas reservas petrolíferas no Oriente Médio, na década de 60, diminui um possível interesse mundial por biocombustíveis.

Com a crise mundial do petróleo, em 1973, a procura por novas fontes de energia ressurgiu. Em meados de 1975, o Brasil lança o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) – maior programa comercial de uso de biomassa para fins energéticos no mundo. Vale salientar, que a busca de um combustível neste período que não derivasse do petróleo, não estava ligada à conservação do meio ambiente, mas com a saúde financeira do país (BUENO, 1980).

Em 1980, o professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, registra a primeira patente mundial de biodiesel, a partir do óleo de algodão, invento que não teve o devido interesse por parte do governo. Em meados de 1987, com o fim do financiamento público ao programa e o mercado internacional de açúcar com preços em ascensão, houve a decadência da produção de etanol. Como consequência, em 1989, o Brasil chegou a importar etanol de origem fóssil (BUENO, 1980).

Com base na discussão mundial sobre a substituição das energias fósseis por energias renováveis, no início desta década, em razão da queda do preço do açúcar no mercado mundial, o Brasil considerou a necessidade da retomada do Programa Pró-Álcool (etanol). No ano de 2002 foi apresentado o primeiro veículo com motor flex-fuel, modelo desenvolvido por empresas alemãs e produzido em série no Brasil a partir de março de 2003. Em março de 2004, 16% dos veículos novos vendidos no Brasil já eram equipados com esse tipo de motor; em fevereiro de 2006 já havia 76,6% (Xavier, 2007), em novembro de 2007, eram 86,1% (Olivério, 2008) e hoje mais de 92%. Desde então, é possível fazer a escolha do tipo de combustível de acordo com o preço (KOHLHEPP, 2010).

2.1.3 Incentivos

As mudanças climáticas observadas nos últimos anos, que provocam secas, enchurradas, baixas umidades, altas temperaturas e desertificação de algumas áreas têm preocupado as organizações mundiais. Desta forma, objetivando mitigar a emissão de

poluentes sobre a atmosfera, as grandes potências mundiais vêm se reunindo e através de acordos, como o de Kyoto, adotam medidas que reduzem a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa.

A mudança global do clima é um dos mais significativos desafios da atualidade. Com a pressão social, os administradores públicos incentivam projetos que venham gerar mais energia, de forma menos poluente. No Brasil, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, tem por objetivo: identificar e traçar metas para reduzir a emissão de gases que favoreçam a poluição atmosférica e incentivar a geração de tipos de energia mais sustentáveis e estimular a participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional (BRASIL, 2008).

2.1.4 Vantagens e Limitações

O aumento do poder aquisitivo da população e a produção de carros mais baratos, pela competitividade das indústrias automobilísticas, resultam na grande quantidade de veículos automotivos no mundo. A queima de combustíveis derivados do petróleo é responsável pela emissão de gases poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e outros que são nocivos à saúde (MAZIERO et al., 2006).

Dentre as principais vantagens dos bicombustíveis, tem-se: a possível mitigação das emissões de gases e partículas liberados durante a combustão do diesel; redução das emissões dos gases do chamado "efeito estufa", principalmente o dióxido de carbono (CO₂), pelo fechamento do ciclo do carbono que contribui para a estabilização da concentração desse gás na atmosfera; a geração de emprego e renda no campo (URQUIAGA; ALVES; BOODEY; 2005).

Segundo Barnwal; Sharma (2005), comparados os gases oriundos da combustão do biodiesel e de óleo diesel de petróleo, há uma redução de 60% de fuligem, 50% do monóxido de carbono e dos hidrocarbonetos, mais de 70% dos hidrocarbonetos poliaromáticos e 15% dos gases aromáticos, além da ausência de SO₂.

No Brasil, além dos benefícios socioambientais, a produção de biocombustível também é estimulada pelos aumentos contínuos do preço de petróleo e seus derivados, além da possibilidade de captar recursos internacionais por meio do Mecanismo de

Desenvolvimento Limpo (MDL) ou Clean Development Mechanism (CDM) do Acordo de Kyoto ou do mercado internacional de créditos de carbono (HOLANDA, 2004).

As desvantagens dos biocombustíveis podem estar na grande quantidade de energia para a produção e a baixa produção de biomassa, em algumas culturas (balanço de energia negativo); redução da biodiversidade; consumo alto de fertilizantes nitrogenados, em alguns casos o balanço energético negativo; possibilidade de redução de áreas destinadas à produção de alimentos, o que pode contribuir para o aumento dos preços dos alimentos (SILVA; FREITAS, 2008).

Outro problema enfrentado na produção de biocombustível é a demanda hídrica para irrigação. Dados do USDA e do USDE (1998) mostram que, para se produzir a quantidade de óleo diesel necessária para gerar a energia para um motor de 1 HP funcionando durante uma hora, é gasto menos de 1 litro de água. Já para a produção dessa mesma quantidade de energia a partir do B20, o consumo é de 18 litros de água e, para produzir o B100, são consumidos mais de 85 litros de água. Problema que pode ser amenizado ou mesmo sanado com a reutilização da água na produção.

2.1.5 Biodiesel

O biodiesel é socioambientalmente correto, pois além de diminuir as cargas poluidoras sobre o meio ambiente, o plantio de oleaginosas pode contribuir para incrementar a renda e estimular a permanência da população nas áreas rurais (BRASIL, 2005). Por consequência, reduzindo o êxodo rural, favorecendo assim, o ciclo da economia autossustentável, essencial para a autonomia do país (REGINATO D'ARCE; FERRARI, 2005).

O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel derivado de petróleo. Para a substituição de 2%, a denominação é B2 (2% biodiesel e 98% de óleo diesel); a substituição de 25% chama-se B25 (25% de biodiesel e 75% de óleo diesel); a substituição de 36% tem o nome de B36 (36% de biodiesel e 64% de óleo diesel); e assim por diante, inclusive o B100 (100% de biodiesel), (PETROBRAS).

Qualquer oleaginosa pode ser destinada para produção do biodiesel, algodão, amendoim, babaçu, buriti, canola, dendê, gergelim, girassol, jojoba, linhaça, mamona etc. O óleo de girassol destaca-se por suas excelentes características físico-químicas, cuja produção

da oleaginosa está entre as maiores culturas do mundo (FAGUNDES, 2002). Do ponto de vista agrônomo, suas vantagens estão no ciclo curto, na qualidade e bom rendimento em óleo (SILVA; SANGOI, 1985).

Maziero et al. (2006), avaliando as emissões de poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível, observaram reduções de 32,2% para monóxido de carbono (CO); 4,8% para dióxido de carbono (CO₂) e 31,0% para total de hidrocarbonetos (HC). Souza et al. (2005), ressaltam a ausência de enxofre no óleo de girassol transesterificado que, confere grande vantagem em relação ao diesel, pois elimina a emissão de gases de enxofre causadores da chuva ácida.

De acordo com Silva; Freitas (2008), o biodiesel terá papel importante na regulamentação dos preços de outros combustíveis como o álcool, que a exemplo da competição que existe entre o álcool combustível e o açúcar, os preços do biodiesel e dos alimentos derivados de grãos oleaginosos podem passar a competir no mercado. Cabe então a ressalva de que o biodiesel é uma alternativa para a diminuição do uso de petróleo, não um substituto.

Uma das principais críticas sobre a produção de biocombustíveis a partir de grãos de plantas oleaginosas está na eficiência energética, muitas vezes negativa. Pimentel; Patzek (2005), estudando o balanço de energia para a produção de biodiesel a partir do óleo de girassol e soja, observaram balanço energético negativo de 1:0,76 para o biodiesel de girassol, inviabilizando a sustentabilidade deste combustível. Ainda, segundo autores, a adubação nitrogenada é o insumo agrícola que mais demanda energia 1,76 Gcal. A baixa produtividade (1500 kg ha⁻¹) e teor de óleo (26%) também influenciaram para o balanço de energia negativo. Desta forma, utilizar genótipos com elevado potencial produtivo e teor de óleo, além de usar fonte nitrogenada alternativa, fertilizante orgânico, pode tornar o balanço de energia positivo.

É de fundamental importância o desenvolvimento de estudos para o planejamento energético de longo prazo, identificando tendências e elementos que permitem orientar a definição de políticas públicas com o objetivo de assegurar uma disponibilidade energética adequada, a universalização do acesso à energia, o uso mais eficiente desse recurso, a minimização de seus custos e sua sustentabilidade ambiental (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

2.1.6 Etanol

O álcool é um combustível renovável, considerado socioambientalmente correto, por gerar emprego no campo. Durante o ciclo de vida, a cana-de-açúcar fixa CO₂ presente na atmosfera. Este fenômeno é conhecido como sequestro de carbono. O CO₂ é utilizado no processo fotossintético, na produção de fotossimilatos. A planta funciona como um filtro de ar.

O aumento de 11% do consumo médio anual de etanol pela indústria, estimulado pelo Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), nos próximos 10 anos, produzindo a partir de uma lavoura estabelecida em áreas definidas pelo Programa de Zoneamento da Cana-de-Açúcar, em fase de implantação, deverá evitar a emissão de 508 milhões de tCO₂ no período (BRASIL, 2008).

O etanol é um álcool, um composto orgânico oxigenado, também denominado álcool etílico, de fórmula química C₂H₅OH. No Brasil, as primeiras tentativas de implantação do uso do etanol como combustível para motores automotivos aconteceram por volta das décadas de 20 e 30 (LIMA, 1984).

Atualmente, o etanol é utilizado de duas formas: álcool hidratado, para carros a álcool ou flex fuel, e álcool anidro, que é adicionado à gasolina. No Brasil, a mistura de etanol na gasolina é estipulada em 25%. Na União Européia, onde o etanol é extraído da beterraba, a mistura que hoje é de 2% passará a ser de 5,75% a partir de 2012 e de 10% a partir de 2020 (KOHLHEPP, 2010).

A América Latina, parte da África, a Índia e o sudeste asiático produzem etanol a partir da cana-de-açúcar. Já os Estados Unidos e a China extraem, principalmente, do milho. Na Europa, a matéria-prima mais usual é a beterraba, mas em alguns casos também se utiliza a uva.

O Brasil apresenta condições naturais extremamente favoráveis para a produção de biocombustíveis, potencial que certamente será útil para firmar seu lugar como futuro líder do etanol no mercado internacional (KOHLHEPP, 2010). A produtividade do etanol da cana-de-açúcar por hectare no Brasil (6.800 litros) é quase o dobro da do etanol de milho nos Estados Unidos (3.800 litros) (OLIVÉRIO, 2008).

Dentre as diversas culturas destinadas à produção de biocombustível, a cana-de-açúcar é uma das poucas que apresenta balanços energéticos altamente positivos, devido à alta produção de biomassa e com baixa adubação nitrogenada. O balanço energético positivo da

produção de etanol de cana-de-açúcar de 8,06 mostra que para produzir 1 GJ de energia, nesta forma, são necessários 0,124 GJ de energia fóssil, em comparação com 0,81 e 0,68 GJ de energia fóssil para produzir 1 GJ de energia na forma de etanol do milho ou do biodiesel de canola, produzidos nos EUA e na CE (URQUIAGA; ALVES; BOODEY; 2005).

Além da produção do etanol, o bagaço da cana-de-açúcar, resíduo industrial, pode ser utilizado para produção de energia elétrica através do processo de co-geração de energia. Estima-se que a co-geração proporcionará aumento da oferta de energia elétrica em 11,4% da oferta total de eletricidade do país em 2030, o que representa a geração de 136 TWh (BRASIL, 2008). Desta forma, o bagaço deixa de ser subproduto para se tornar opção de energia renovável, para fortalecer a matriz energética brasileira.

O bagaço é produzido em grandes quantidades; uma tonelada de colmo produz cerca de 140 quilos de bagaço, dos quais 90% são usados na produção de energia (térmica e elétrica). Uma tonelada de bagaço gera em torno 85,6 KWh, energia que pode ser comercializada e fornecida ao sistema público de rede elétrica (KITAYMA, 2007).

Diante da complexidade do aumento diário da demanda por energia sustentável, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) tem dentre seus objetivos a implementação do Plano Nacional de Agroenergia, responsável por realizar pesquisas, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir a sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia. Isso representa um estímulo à formação de um mercado internacional de etanol - cooperação técnica com outros países de alto potencial de plantio de cana-de-açúcar para desconcentrar a oferta de etanol, tornando-a mais estável e equilibrada (BRASIL, 2008).

2.2 A água

2.2.1 Importância da água para as plantas

A água é o solvente universal que possibilita a maioria das reações químicas. Em nível celular, aproximadamente 95% da massa do protoplasma é água. Atua na maioria dos processos metabólicos, como na fotossíntese e a fosforilação oxidativa. Assume a primordial missão de desencadear o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Desta forma, considera-se

que a água é essencial para a vida e a produtividade dos vegetais, afetando de maneira bastante significativa, tanto pela sua falta ou excesso. (REICHARDT; TIMM, 2004).

A deficiência hídrica nas plantas induz o mecanismo de fechamento dos estômatos no intuito de minimizar a perda de água, reduzindo a transpiração. Contudo, com o fechamento dos estômatos, tem-se a redução a absorção de CO₂ para o mesófilo foliar e conseqüentemente a redução nas taxas fotossintéticas (SOUZA; SOARES; ALBUQUERQUE, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O estresse hídrico causa, em curto prazo, reduções na condutância estomática e no crescimento de folhas e, a longo prazo, reduções no crescimento do caule das plantas (GOLLAN *et al.*, 1986). Como a produtividade está relacionada com o acúmulo de carboidratos e este com a fotossíntese, logo a disponibilidade de água no solo é fundamental para o rendimento da cultura (WULLSCHLEGER; OOSTERHUIS, 1990; CRAFTS-BRANDNER).

O uso indiscriminado da água, na produção agrícola, pode proporcionar sérios problemas: à planta, ao meio ambiente, à sociedade civil, além de causar danos financeiros. Nas plantas a clorose pode ser um sintoma de excesso de água no solo, devido à não absorção de oxigênio pelas raízes (KRIZEK, 1992). A lixiviação dos fertilizantes como consequência do uso demasiado da água no solo pode contaminar o lençol, causando prejuízos para a sociedade e ao meio ambiente, além do aumento das despesas com água e fertilizantes.

2.3 Irrigação

O uso da irrigação para suprir as necessidades hídricas das culturas não é recente; as principais civilizações tiveram suas origens nas regiões áridas, em que, a produção agrícola só era possível com a irrigação. Há mais de 4.000 anos grandes aglomerações se fixaram às margens dos rios Huang Ho e Iang-tse-King, no vasto império da China, no Nilo do Egito, no Tigre e Eufrates da Mesopotâmia e no Ganges da Índia. A consolidação desses povos só foi possível graças à utilização de seus recursos hídricos (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006).

A irrigação permite complementar ou até mesmo substituir totalmente a precipitação pluviométrica em períodos de estiagem, garantindo a produtividade agrícola e a fixação do homem no campo, através do emprego permanente. Neste contexto, a irrigação

passou a ser um valioso componente para tornar viável a agricultura, e de uma maneira peculiar nas regiões áridas e semiáridas, em que, as precipitações naturais não são distribuídas em quantidades suficientes para assegurar uma umidade no solo apropriada durante todo o ciclo da cultura (MORAIS et al., 2008; ACOSTA, 2009).

Além de propiciar maiores produtividades, a prática da irrigação também possibilita a obtenção de mais de uma safra por ano. Neste contexto, a irrigação tornou-se técnica fundamental para a produção agrícola não somente para as regiões semiáridas, mas todas as regiões produtoras agrícolas (COSTA, 2003).

De acordo com a Assembléia Legislativa do Estado do Ceará (2008), a agricultura irrigada, de uma maneira geral, no estado é praticada de maneira indiscriminada, com baixa eficiência na utilização da água. Acredita-se na carência de pesquisas que objetivem quantificar as necessidades hídricas das culturas, nas diversas condições edafoclimáticas e o não entendimento por parte dos produtores, das informações geradas com as pesquisas já realizadas.

2.3.1 Qualidade da água de irrigação

A qualidade da água de irrigação é fundamental para manter a sanidade das plantas e a não degradação do solo e aquíferos subterrâneos. Contudo, quase sempre a qualidade da água é negligenciada, o que pode provocar danos na cadeia produtiva. Entre os principais problemas relacionados à qualidade da água tem-se (OLIVEIRA; MAIA, 1998; MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006 e BATISTA *et al.* 2006):

- ✓ Concentração elevada de sais totais: Proporciona a salinização do solo, por meio da diminuição do potencial osmótico e redução do potencial hídrico, dificultando a absorção de água pelas plantas. As concentrações de sais elevados na água de irrigação e, por consequência, na solução do solo pode causar toxidez às plantas.
- ✓ Sodificação: Elevadas concentrações de sódio (íon monovalente) em relação a outros cátions, principalmente cálcio e magnésio (íons bivalentes) proporcionam dispersão da argila do solo, o que acarretará problemas na estrutura do solo, dificultando o processo de infiltração da água.

- ✓ Concentrações de bicarbonatos: Altas concentrações de bicarbonatos promovem precipitação do cálcio e magnésio, podendo elevar a proporção relativa de sódio, RAS, podendo reduzir a infiltração de água no solo. No sistema de irrigação, as precipitações de carbonatos de cálcio e magnésio, nas tubulações, ocasionam obstrução dos emissores e, por consequência, a má distribuição de água pelo sistema de irrigação.
- ✓ Concentração de íon de ferro Fe^{+2} : O ferro dissolvido na água (Fe^{+2}) pode ser oxidado pela ação de bactérias e pelo contato com ar ou oxidantes contido na água. A oxidação do ferro (Fe^{+3}) promove a precipitação e a obstrução dos emissores do sistema de irrigação, comprometendo a uniformidade de distribuição de água.
- ✓ Concentrações de boro e cloro: Embora estes elementos sejam necessários para o desenvolvimento das culturas, a concentração requerida é muito pequena. Quando em altas concentrações, podem ocasionar toxidez. Seu grau de dano depende da concentração do elemento, da sensibilidade da cultura e da evaporação diária.
- ✓ Matéria orgânica: Água com relativas concentrações de matéria orgânica, como os esgotos domésticos tratados, pode ocasionar entupimento parcial ou total dos gotejadores por processos físicos, químicos e biológicos.
- ✓ Contaminantes por agentes patogênicos: O uso de água contaminada pode promover contaminação do irrigante, das comunidades vizinhas à irrigação e dos consumidores dos produtos irrigados.

2.3.2 Irrigação localizada

A agricultura irrigada pode ser o divisor de águas entre a sustentabilidade e o conflito social. Em face da grande demanda de água para produção agrícola, em alguns países totalizando até 80%, menos de 20% para a indústria e apenas 6% para o consumo doméstico (HESPANHOL, 2002). Tem-se questionado o uso racional da água pela irrigação por meio do aperfeiçoamento humano e adoção de técnicas inovadoras.

Numa investida para conservação do meio ambiente, com a redução dos desperdícios de água durante a irrigação, a política Nacional de Recursos Hídricos, com seus

instrumentos de outorga, enquadramento e planos de recursos hídricos, aliada ao Instituto dos Comitês de Bacias Hidrográficas, tem forçado todo o setor produtivo a minimizar seus consumos hídricos.

Com o aumento das áreas irrigadas, e a diminuição da disponibilidade hídrica, tem sido uma tendência mundial optar pelo método de irrigação localizado, de modo a tornar mínimo o volume de água aplicado na irrigação, sem reduzir a produtividade das culturas agrícolas (SOUZA; ANDRADE; SILVA, 2005).

Um novo modelo de produção que considera a água como fator limitante tem ganhado adeptos em todo o mundo. A relação produção/água permite mensurar a eficiência da produção da cultura em função da água por ela utilizada. Indicativo que vem despertando interesse nas últimas décadas pelo importante papel que pode desempenhar como auxiliar de gestão e a otimização de recursos escassos, sendo de grande utilidade quando se trata de gerir a rega em condições de carência hídrica (TOUREIRO; SERRALHEIRO; OLIVEIRA, 2007).

Mesmo nas regiões com altas precipitações pluviométricas tem se pesquisado o uso da irrigação localizada como estratégia de disponibilizar no momento certo água para a planta. Dalri *et al.* (2008) avaliaram o desempenho produtivo e qualitativo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento subsuperficial em Botucatu, SP, mesmo em precipitações médias de 1533,2 mm.

Na irrigação localizada a água é aplicada de forma pontual ou em faixa contínua, através de baixas vazões (1 a 160 L h⁻¹) e alta frequência (turno de rega de um a quatro dias), a perda por arraste pelo vento não existe e por evaporação é muito pequena já que apenas uma porção do solo é molhada, particularidades que tornam estes sistemas mais eficientes quando comparados à irrigação por aspersão e por superfície (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2006).

O diferencial do sistema de irrigação localizada tipo gotejamento são seus emissores, denominados gotejadores. Peças acopladas às linhas laterais de irrigação são responsáveis por dissipar energia, possibilitando a aplicação de água gota a gota a baixas e estáveis vazões (1 a 20 L h⁻¹), a pressões de serviço situadas entre 5 e 25 mca. Neste método, a área umedecida em formato geralmente esférico, denominado de bulbo molhado. Quando os emissores são instalados próximos uns dos outros, é formada uma faixa contínua (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2006).

Na irrigação por gotejamento, um aspecto importante para o seu bom desempenho é que a diferença entre a vazão dos emissores seja a menor possível, principalmente quando o

sistema é utilizado para se fazer a fertirrigação (ALMEIDA; SAMPAIO; SUSZEK, 2006). Quanto menor a variação da vazão entre os emissores, maior será a uniformidade do sistema.

O uso da irrigação localizada permite um controle rigoroso da quantidade de água fornecida às plantas, economia de água, menor mão de obra, otimização do uso de fertilizantes, uso de água com maior salinidade e boa uniformidade de aplicação da água (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006). O que faz deste sistema uma boa opção para irrigação usando esgoto.

Dentre outras vantagens dos sistemas localizados, podem ser citados: o baixo dispêndio de energia elétrica e a possibilidade de utilização do sistema de irrigação para a aplicação de defensivos agrícolas (CARVALHO, 2009). Já Lopes (2006), menciona como desvantagem a susceptibilidade a entupimentos, em virtude dos pequenos diâmetros de orifício, fato que ordena a necessidade de um sistema de filtragem altamente competente.

2.3.3 Manejo da irrigação

O manejo da água é o condicionante para o sucesso ou o fracasso da agricultura irrigada. É imprescindível conhecer necessidades hídricas da cultura, para o fornecimento de água racional, sem que haja deficit, nem excesso, definindo quando e quanto irrigar (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006).

As pesquisas relacionadas ao manejo de irrigação, como a aplicação de diferentes lâminas de irrigação, pode determinar de forma prática e racional as necessidades hídricas das culturas (AZEVEDO; BEZERRA, 2008). A determinação *in locu* da quantidade de água que a cultura necessita para crescer e produzir dentro dos limites impostos por seu potencial genético é importante para manejo correto da irrigação, podendo ser recomendada para outras regiões com clima e solo semelhantes.

O excesso de água pelo manejo incorreto da irrigação pode acarretar: aumento da mão de obra; perdas dos nutrientes por percolação; salinização do solo; dispêndio de energia; e elevados custos de produção. A possibilidade da contaminação do lençol freático, também é uma realidade do uso excessivo de água na agricultura. Para Gomes; Testezlaf (2004), o manejo de água deve atender as necessidades das culturas e ao mesmo tempo estar aliado à preservação ambiental. Para Jadoski *et al.* (2003), para um uso correto do manejo da irrigação deve-se considerar a resposta da cultura à lâmina de irrigação aplicada.

Diante da importância econômica e ambiental do manejo correto da água na agricultura e das particularidades que envolvem consumo hídrico, este sendo bastante influenciado pelas culturas, o clima e solo. Vários autores vêm intensificando suas pesquisas em determinar a lâmina de irrigação ideal para cada cultura e região como: Silva *et al.* (2007), Gomes *et al.* (2010) e Silva *et al.*, (2011) para o girassol, nos estados de Minas Gerais, Paraná e Ceará, respectivamente, assim como: Souza; Bernardo; Dantas Neto *et al.* (2006), Dalri *et al.* (2008) para a cana-de-açúcar no Rio de Janeiro, Paraíba e São Paulo, respectivamente.

2.3.4 Tanque Classe “A”

Na produção agrícola, a água é consumida pela transpiração das plantas e evaporação da água do solo e da vegetação úmida, processo conhecido como evapotranspiração. Sua quantificação é de fundamental importância, pois define a lâmina de irrigação a ser aplicada no sistema (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006). A evapotranspiração está relacionada com parâmetros climáticos, genéticos, do sistema de cultivo. Os métodos geralmente são onerosos, exigentes em termos de exatidão da medição e somente podem ser totalmente utilizados em pesquisas individuais (SANTOS *et al.*, 2004).

Além da complexidade de se determinar a evapotranspiração da cultura, esta pode variar com o próprio tempo, de acordo com os parâmetros climáticos e fisiológicos da cultura no período de cultivo. De acordo com Doorenbos; Pruitt (1984), a evapotranspiração das diferentes culturas pode ser estimada por meio do produto de duas etapas: A estimativa da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) e a eleição de um coeficiente de cultura (K_c), tabelado, e distinto para cada cultura e para cada estágio de desenvolvimento. O produto de ET_o pelo K_c selecionado estima a evapotranspiração da cultura de interesse.

O K_c reflete o estágio de desenvolvimento da cultura e pode ser obtido por tabelas e gráficos com base de resultados de pesquisas (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006). Contudo, pode variar em função da região de cultivo.

A ET_o pode ser determinada por métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos, obtidos com auxílio de lisímetros, são geralmente de custos elevados e por isso são geralmente utilizados apenas em pesquisas. Os métodos indiretos podem ser estimados por equações como: Penman-Monteith; Hargreaves (1985); Blaney-Criddle, corrigida por

Doorenbos; Pruitt (1977), ou tanque Classe “A”, bastante aceitos para se estimar a ETo (SANTOS *et al.*, 2001).

A equação de Penman-Monteith é recomendado pela FAO (SANTOS *et al.*, 2004). Para tanto, diante da complexidade e das limitações literárias e de equipamentos para se obter os dados necessários exigidos por esta equação para uma determinada região, como: radiação líquida na superfície da cultura (R_n); densidade de fluxo de calor (G); velocidade do vento a dois metros de altura (u_2); pressão de vapor de saturação (e_s); pressão atual de vapor; declividade da curva de pressão de vapor de saturação versus a temperatura (Δ) e constante psicrométrica (γ), pode ser uma consequência da não adoção desta equação por parte dos agricultores.

Diante da complexidade e da falta de parâmetros locais para se estimar a ETo por meio das equações, que se tornam impraticáveis e não utilizadas por agricultores, Lopes *et al.* (2004) recomendam ao agricultor técnicas simples, mas com precisão suficiente que possibilitam no campo o momento e a quantidade de água a ser fornecida à cultura e uma dessas técnicas, é o método do tanque Classe “A”.

O tanque classe “A” é um método indireto para se estimar a evapotranspiração das culturas, é recomendado pela FAO (Food and Agricultural Organization) e utilizado em todo o mundo. Dentre as vantagens tem-se: o monitoramento *in locu*, ou seja, a possibilidade de instalação próximo da cultura a ser irrigada, método simples e de baixo custo de operação, o que resulta nos bons resultados para a estimativa hídrica das culturas (SANTOS *et al.*, 2004). Contudo, Mantovani; Bernardo; Palaretti (2006) questionam problemas externos como animais e vazamentos que podem limitar a precisão do tanque “Classe A”.

A evaporação do tanque (ECA) é simplesmente a altura de água evaporada por unidade de tempo. A altura de água evaporada pode ser medida com régua graduada, porém, para maior precisão recomenda-se a utilização de um poço tranquilizador com micrômetro de gancho. A precisão da medida é importante, pois a água baixa apenas alguns milímetros por dia e o ideal é conseguir medir frações de milímetros (REICHARDT, 1987).

Atualmente, vários pesquisadores têm adotado o tanque Classe “A” para o manejo de irrigação em diversas culturas como: Santos *et al.* (2004) para a melancia; Farias *et al.* (2009) e Deon *et al.* (2010) para cana-de-açúcar; Biscaro *et al.* (2008) e Silva *et al.* (2011) para o girassol; Oliveira *et al.* (2009) e Lopes *et al.* (2011) para o Feijão.

2.4 Água de reúso

A degradação ambiental e os processos de desertificação decorrentes da escassez de água são motivos de preocupação mundial. A escassez pode se dar pela quantidade ou qualidade dos recursos hídricos, consequência do aumento da demanda (populacional, agrícola e industrial) e da poluição das fontes hídricas (TUCCI, 2007). Desta forma, além do tratamento dos esgotos tem se questionado sua reutilização, uma fonte hídrica alternativa, principalmente na agricultura, que evitaria sua deposição direta sobre os mananciais.

O esgoto doméstico ou efluente sanitário contém cerca de 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos (MENDONÇA, 1990). No geral são ricos em matéria orgânica, NPK e micronutrientes. A variação destes compostos na água de reúso pode ocorrer com a dieta da sociedade, o consumo de água, o tipo de tratamento (primário, secundário e/ou terciário) e o processo de tratamento (filtro biológico, tratamento anaeróbico, tratamento aeróbio e lagoas de estabilização) dado ao esgoto doméstico (MOTA; SPERLING, 2009).

2.4.1 O reúso e a sustentabilidade

A água, além de ser fundamental para que se haja vida, é um fator limitante no desenvolvimento econômico da sociedade. Desta forma, planejadores e gestores de recursos hídricos procuram, continuamente, novas fontes de recursos hídricos para complementar a limitada disponibilidade hídrica disponível. Com isso, o reúso de água torna-se ferramenta fundamental para aumentar os recursos hídricos locais. O uso das águas residuárias promove a sustentabilidade, economizando águas potáveis, mantendo a qualidade ambiental (NOBRE *et al.* 2010).

O esgoto doméstico tratado pode ser utilizado nos centros urbanos ou no meio rural. Nos centros urbanos, pode ser destinada para fins potáveis ou não potáveis. O reúso para fins potáveis só pode ser praticado quando se tem como matéria prima básica o esgoto exclusivamente doméstico, pois emprega barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento e reúso indireto, o que muitas vezes se torna inviável. Já para fins não potáveis envolve riscos menores, podendo ser empregada para irrigação de áreas verdes e campos de futebol, reservas

de proteção de incêndios, controle de poeira, descargas sanitárias em banheiros públicos, na construção civil e indústria (HESPANHOL, 2002).

2.4.2 Estações de tratamento de esgoto do Ceará

O tratamento de esgoto consiste na estabilização da matéria orgânica de um certo efluente. O tratamento consiste em transformar a matéria orgânica em inorgânica (mineralização e conseqüente redução de DBO) e em remover os microorganismos patogênicos. Não existe um sistema de tratamento padrão a ser utilizado. A escolha do tratamento dependerá das disponibilidades de área, clima favorável, características do esgoto, da qualidade desejada para o efluente, capacidade do corpo receptor de receber a carga poluidora e da legislação local. No Brasil, em especial no nordeste, devido a disponibilidade de área e a grande incidência luminosa durante o ano, recomenda-se sistemas de ação biológica, como o valo de oxidação e as lagoas de estabilização (PIMENTA *et al.*, 2002).

O sistema de lagoa demanda pouca atenção operacional, sistema robusto que na prática tem se mostrado capaz de suportar elevados picos de contribuição e períodos de inatividade, sem afetar significativamente sua eficiência. Um sistema econômico que requer pouca ou nenhuma energia (quando utiliza o desnível topográfico para conduzir os líquidos), para seu perfeito funcionamento. Contudo, este sistema apresenta desvantagens como: demanda elevada área, necessidade de topografia adequada, possibilidade de contaminação dos lençóis freáticos, emissão de gases causadores do efeito estufa (gás carbônico e metano), além da necessidade de clima adequado para uma operação eficiente (FEIDEN, 2008).

As estações de tratamento de esgoto, com lagoa de estabilização constituem-se das seguintes etapas (MOTA; SPERLING, 2009):

Pré-tratamento: Nesta etapa o esgoto é submetido ao gradeamento e à caixa de areia, para retirada de sólidos em suspensão de grandes volumes e mais densos, respectivamente. Em seguida a vazão de efluente é medida com auxílio da calha Parshall.

Tratamento secundário: Geralmente esta etapa é composta por três lagoas interligadas em série. Na primeira lagoa (lagoa anaeróbica), na qual estão presentes as bactérias anaeróbicas, por meio da fermentação anaeróbia, há a floculação dos sólidos suspensos. Em seguida o efluente segue para a lagoa facultativa, onde as algas por meio do processo fotossintético, fixam oxigênio no efluente ao mesmo tempo em que, bactérias aeróbicas

decantam o carbono orgânico da água e consomem oxigênio da água. Na lagoa de polimento, tem-se o acabamento do efluente, neste processo também há algas e bactérias.

A lagoa de estabilização é o sistema de tratamento de esgoto mais utilizado no Ceará. Na região metropolitana de Fortaleza, são 17 estações de tratamento de esgoto (ETE) que tratam resíduos de aproximadamente 250.000 habitantes, representando cerca de 14% da população total. Todas tratam esgotos somente de origem domiciliar, com exceção apenas do Sistema Integrado do Distrito Industrial de Maracanaú – SIDI (ARAÚJO, 2000).

Após o tratamento no sistema de lagoas de estabilização, a água de reúso atende os principais limites gerais propostos em legislações: máximo de 10^3 NMP/100 mL para coliformes termotolerantes e máximo de $1,0$ ovo L^{-1} para helmintos, para uso em irrigação irrestrita (MOTA; SPERLING, 2009).

2.4.3 Classificação e legislação para uso de água residuária

Um das primeiras manifestações de preocupação a respeito do reúso de água na agricultura, sobre saúde pública, foi registrada no Estado da Califórnia, EUA, em 1978, através da publicação da norma “Wastewater Reclamation Criteria” a qual exigia que efluentes de estação de tratamento de esgotos que fossem ser utilizados para irrigação de culturas a serem consumidas por seres humanos contivessem número de coliformes fecais menor que $2,2$ ufc/100mL (STATE OF CALIFORNIA, 1978). No entanto, estudos posteriores sobre a evidência da transmissão de doenças através do uso de águas residuárias na agricultura mostraram que os padrões microbiológicos adotados no Estado da Califórnia eram mais rígidos do que o necessário para se evitar riscos à saúde pública, provocando gastos desnecessários no tratamento dos esgotos (SHUVAL *et al.*, 1986).

Baseada nos estudos epidemiológicos dos EUA, em 1989 a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou as recomendações “Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture” nas quais os padrões microbiológicos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Qualidade microbiológica de águas residuárias para uso na agricultura

Condições de reúso	Meta para nível básica de saúde (DALY* por pessoa ano ⁻¹)	Redução (Log ₁₀) de patógenos	Número de ovos helmintos por litro
Irrigação irrestrita	$\leq 10^{-6}$		
Alface (folha)		6	≤ 1
Cebola (Raiz)		7	≤ 1
Irrigação restrita	$\leq 10^{-6}$		
Altamente mecanizada		3	≤ 1
Atividade humana intensa		4	≤ 1
Irrigação localizada (gotejamento)	$\leq 10^{-6}$		
Culturas elevadas		2	Sem recomendação
Culturas rentes ao solo		4	≤ 1

*DALY – Disability adjusted life years (anos de vida ajustados para incapacidade). Fonte: WHO, 2006 *apud* Mota; Aquino; Santos (2007).

Contudo, a OMS não dita leis, mas sim diretrizes que podem ou não ser adotadas. Desta forma, com a preocupação crescente com o meio ambiente e o bem estar social, aliados às cobranças mundiais por leis mais rígidas que protejam o meio ambiente e que atendam às realidades locais, há necessidade que as autoridades nacionais e locais editem leis que definam e restrinjam o despejo e uso de água residual.

2.4.4 Legislação Federal

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no uso de suas atribuições, preocupado com o meio ambiente, dispôs sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes. Na resolução CONAMA N° 357 de 2005, CAPÍTULO IV, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, foi enfatizado no Art. 29 que o uso de efluentes no solo, mesmo tratado, não poderá causar poluição ou contaminação das águas. No Art. 34 são definidos padrões de qualidade para efluentes de qualquer fonte poluidora a ser lançada, direta ou indiretamente, nos corpos de água:

I – pH entre 5 a 9;

II – temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;

III – materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

IV – regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

V – óleos e graxas:

1 – óleos minerais: até 20 mg/L;

2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L; e

VI – ausência de materiais flutuantes.

§ 5º Padrões de lançamento de efluentes (Tabela 2):

Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluente

Parâmetros Inorgânicos	Valor máximo
Arsênio total	0,5 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L
Cádmio total	0,2 mg/L
Chumbo total	0,5 mg/L
Cianeto total	0,2 mg/L
Cobre dissolvido	1,0 mg/L
Cromo total	0,5 mg/L
Estanho total	4,0 mg/L
Ferro dissolvido	15,0 mg/L
Fluoreto total	10,0 mg/L
Manganês dissolvido	1,0 mg/L
Merúrio total	0,01 mg/L
Níquel total	2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L
Prata total	0,1 mg/L
Selênio Total	0,3 mg/L
Sulfeto	1,0 mg/L
Zinco total	5,0 mg/L
Parâmetros orgânicos	Valor máximo
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L

Fonte: CONAMA Nº 357 de 2005.

2.4.5 Legislação Estadual

Considerando a necessidade de estabelecer padrões de qualidade dos efluentes, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE), por meio da PORTARIA N°154/2002, criou uma legislação sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (CEARÁ, 2002).

Dentre as normatizações da PORTARIA N.º154/2002, o Art. 6º trata sobre a utilização de efluentes de origem doméstica em atividades agronômicas (irrigação e drenagem, dessedentação de animais e aquicultura) que deverá obedecer aos seguintes limites:

I – Atividades Tipo 1 : Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquicultura, conforme se segue:

- a) Coliformes fecais < 1000 CF/100 mL.
- b) Ovos de geohelmintos < 1 ovo/L de amostra.
- c) Condutividade elétrica < 3000µS/cm

II – Atividades Tipo 2 : aquelas não referidas no inciso anterior, conforme se segue:

- a) Coliformes fecais < 5000 CF/100 mL.
- b) Ovos de geohelmintos < 1ovo/L de amostra.
- c) Condutividade elétrica < 3000 µS/cm

§1º Os limites da alínea “a”, dos incisos I e II serão auferidos pela média geométrica de amostras coletadas durante 5 (cinco) semanas consecutivas.

§2º Os limites da alínea “b”. dos incisos I e II, serão auferidos pela média aritmética de amostras coletadas durante 5 (cinco) semanas consecutivas.

2.5 Reúso de água na agricultura

O uso de esgoto sanitário na produção agrícola não é recente. As primeiras experiências do uso de esgoto na agricultura foram registradas na Inglaterra, em meados do século XIX. As “Fazendas de Esgoto” como ficaram conhecidas, utilizavam esgotos sanitários no solo como forma de reciclagem da água e produção agrícola. A cidade de Malbourne, na

Austrália, recebe atualmente aproximadamente 510 milhões de litros de esgoto por dia, ocupando uma área de 10.850 ha e servindo de pastagem para um rebanho de 13.000 bovinos e 3.000 ovinos (MOTA; SPERLING, 2009).

Embora ainda existam restrições quanto ao uso da água residuária na produção agrícola, há vários países que já utilizam esta fonte hídrica em grandes áreas de produção agrícola. A China encontra-se no topo do ranking com 1.330.000 ha irrigados com esgoto, seguido por México 250.000 ha, Argentina com 37.000 ha, Alemanha com 28.000 ha, EUA com 14.000 ha, Israel com 10.000 ha, dentre outros (MOTA; SPERLING, 2009).

Embora o uso do esgoto doméstico na produção agrícola não seja recente, e já seja utilizado em vários países, o uso do efluente na irrigação deve ser de forma criteriosa, de modo a evitar, sobretudo danos à sociedade e ao meioambiente. Segundo Silva; Coelho (2003), irrigar adequadamente uma lavoura é maximizar a produtividade sem, contudo, causar danos ao meio ambiente. Para Mota; Sperling (2009), no uso do esgoto doméstico tratado na irrigação há a necessidade de se disciplinar a atividade de forma equilibrada, sem permitir riscos consideráveis, mas sem impor limites excessivamente restritivos que inviabilizem os projetos.

Dentre os cuidados que se devem ter quanto à utilização de esgotos domésticos na irrigação pode-se citar: o aumento de pH, a presença considerável dos íons cloreto e sulfato, que associados ao sódio, são potenciais causadores de salinização do solo. Desta forma, o controle da salinização e da sodificação deve ser considerado imprescindível para a prática de irrigação com esgoto tratado. Outra atenção deve-se aos metais pesados tóxicos (Cd, Pb e Ni), que embora se encontrem geralmente em baixa concentração na maioria dos esgotos tratados e não pareçam representar maiores problemas para a utilização do esgoto na irrigação, devem ser monitorados para garantir a sustentabilidade ambiental da prática (MOTA; SPERLING, 2009).

Pilatt; Brentano (2010), avaliando a toxicidade do esgoto doméstico bruto e tratado, em Santa Catarina, relataram a importância do tratamento de esgoto doméstico, sendo essencial adequá-los à legislação local, quanto ao oxigênio dissolvido OD e demanda biológica de oxigênio. Contudo, ainda segundo os autores, a concentração de fósforo máximo ($3,94 \text{ mg L}^{-1}$) não atendeu os limites da legislação local de 1,0 mg de fosfato por litro.

Deon (2009), trabalhando com esgoto doméstico tratado, em lagoas de estabilização, não constataram restrições quanto à toxicidade de Boro, Cloro e Sódio, contudo, o autor classificou o efluente, para o uso na irrigação, como risco ligeiro a moderado.

A crescente deterioração dos mananciais e as limitações tecno-financeiras para implantar soluções mais complexas no tratamento dos esgotos domésticos, tornam o reúso de água uma boa estratégia, do ponto de vista agrônomo-ambiental. Durante o ciclo de vida, as plantas, por meio do sistema radicular, absorvem água, O₂ e nutrientes, funcionando como “filtro”, retirando alguns potenciais poluidores, presentes no esgoto, como o nitrato (MOTA; SPERLING, 2009).

A demanda excessiva de água para a produção agrícola é motivo de preocupação. Para Hespanhol (2002), a agricultura depende de suprimento de água a tal nível que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais.

A demanda de água para os 60.000 hectares irrigados no Ceará gira em torno de 913 milhões de m³ ano⁻¹, enquanto a demanda industrial é de 191 milhões de m³ ano⁻¹, e o consumo humano corresponde aproximadamente a 379 milhões m³ ano⁻¹, o que corresponde aproximadamente a 61,6%, 12,9% e 25,5% da demanda (CEARÁ, 2005). Desta forma, constata-se que a irrigação é a atividade que mais consome água potável, e abre o questionamento sobre a utilização da água de reúso para uso agrícola.

Nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste, nas quais a água é fator limitante para a produção agrícola, é inevitável a tendência crescente do uso de águas residuárias na agricultura, como forma de dinamizar a produção através do uso de novas técnicas e recursos (LUCAS FILHO *et al.*, 2002).

2.5.1 Vantagens do reúso de água na agricultura

O reúso da água é uma estratégia eficaz para a conservação dos recursos naturais, pois implica em uma menor necessidade de captação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, bem como em uma menor geração de efluentes, descargas de esgotos em corpos de água, prevenindo a poluição, a contaminação e a eutrofização. Podendo, ainda, ser utilizado na recuperação de áreas degradadas e ou desertificadas (MOTA; SPERLING, 2009).

Dentre as várias vantagens da utilização da água de reúso na agricultura pode-se citar: o controle da erosão do solo e os processos de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes; a economia com fertilizantes e matéria orgânica e o aumento da produção de alimentos (BERNARDI, 2003).

A água de reúso pode ser considerada como um recurso hídrico complementar, substituindo parcialmente as águas de melhor qualidade, quando estas se tornarem fator limitante. Permitindo ainda a utilização de águas de melhor qualidade, para os fins mais nobres, como o consumo humano (RODRIGUES, 2005).

Deon (2009), avaliando a disponibilidade de nutrientes nas camadas do solo (da superfície até 100 cm de profundidade) constatou que a lâmina de irrigação de 1091,6 mm com esgoto doméstico tratado pode fornecer até 163 kg ha⁻¹ de N, 14 kg ha⁻¹ de P, 145 kg ha⁻¹ de K, 80 kg ha⁻¹ de Ca, 28 kg ha⁻¹ de Mg, 207 kg ha⁻¹ de S, 0,45 kg ha⁻¹ de B, 0,07 kg ha⁻¹ de Cu, 0,25 kg ha⁻¹ de Fe e 0,18 kg ha⁻¹ de Mn, relevando as vantagens agrônômicas e ambientais.

Pesquisas recentes têm demonstrado efeito inibidor da patogenicidade de nematóides para a cultura do milho em função da aplicação de efluente no solo. Acredita-se que a adição de elementos minerais e o aumento da atividade microbiana advindos da irrigação com esgoto possam inibir o desenvolvimento de alguns patógenos, especialmente pela competição com outros microrganismos no solo (MOTA; SPERLING, 2009).

Um atrativo para o uso da água de reúso está na quantidade disponível. Considerando um consumo médio per capita para o estado do Ceará de 131,0 litros hab⁻¹ dia⁻¹, SNIS (2008). Desta forma, uma pequena cidade com 10.000 habitantes poderia produzir efluente suficiente para irrigar uma área de 43 ha, considerando um consumo hídrico diário de 3 mm de água pela cultura.

Segundo Castro *et al.* (2007), a vazão estimada por meio dos sistemas de lagoas de estabilização no Ceará é de aproximadamente 97.611 m³ dia⁻¹. Ainda segundo os autores, somando as vazões futuras de lagoas em execuções e projeto, aumentaria a oferta em 82,101 m³ dia⁻¹.

2.5.2 Desafios do uso de águas residuárias na agricultura

2.5.2.1 Quanto aos corpos hídricos

O lançamento excessivo de efluentes “in natura” nos recursos hídricos resulta em impactos significativos ao meio ambiente. A matéria orgânica presente nos dejetos, ao entrar em um sistema aquático, leva a uma grande proliferação de bactérias aeróbicas, provocando o consumo de oxigênio dissolvido, que pode-se reduzir a valores muito baixos, ou mesmo

extinguir, gerando impactos à vida aquática aeróbica, podendo ocorrer a eutrofização dos mananciais, agravando do problema de escassez de água potável. Estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada (MORAES; JORDÃO, 2002).

Mesmo tratado, o lançamento excessivo de esgoto sobre os corpos hídricos pode causar poluição (MOTA; SPERLING, 2009). Este problema pode se agravar nas regiões semiáridas, em que nos períodos de estiagem os rios sazonais secam, permitindo que parte da água presente na composição do esgoto infiltre, aumentando a concentração da matéria orgânica e minerais do efluente.

2.5.2.2 Quanto ao solo

As concentrações elevadas de sódio na água de irrigação, decorrentes da própria dieta humana e da intensa utilização dos produtos de limpeza, acompanhadas de baixas concentrações de cálcio e magnésio representam elevadas razões de absorção de sódio, podendo proporcionar a dispersão das argilas e obstrução dos poros do solo (MEURER, 2004 e MOTA; SPERLING, 2009).

Para Mancino; Pepper (1992) os problemas relativos à concentração de sódio podem ser amenizados quando as precipitações pluviométricas forem eficientes para lixiviação deste nutriente, associado a solos bem drenados.

2.5.2.3 Quanto à saúde pública

Embora sejam escassos os trabalhos relacionados à contaminação por doenças infecciosas por irrigantes que entram em contato prolongado e direto com esgoto doméstico tratado, diversos tipos de patógenos são encontrados em efluentes domésticos como bactérias, parasitos e vírus (MEHNERT, 2003 e HUTTON; HALLER, 2004).

No Brasil, todas as diretrizes voltadas para a análise de efluentes domésticos são baseadas em indicadores bacterianos (CONAMA, 2006), não existindo critérios voltados para a avaliação de vírus entéricos. Dessa forma, sem a pesquisa de patógenos virais fica

comprometida a qualidade desses efluentes em termos de segurança virológica para fins de reúso agrícola (COZAC; MIRANDA).

A saúde pública é ainda objeto de grandes controvérsias, no meio da comunidade científica internacional. Snel (2002) ressalta o risco à saúde dos trabalhadores que estejam em contato prolongado com o efluente. Já Segundo Toze (2006), não há risco de contaminação dos produtores agrícolas que utilizam o esgoto doméstico tratado para a irrigação devido à baixa disponibilidade destes contaminantes.

Outra barreira a ser quebrada é o preconceito e a dificuldade de aceitação da sociedade quanto ao uso do efluente, principalmente na produção agrícola. Silva *et al.* (2008), acredita que a restrição da sociedade sobre água de reúso se deve à falta de informação e educação.

2.5.2.4 Quanto às culturas

A irrigação de plantas moderadamente tolerantes à salinidade e ao cultivo de culturas destinadas à produção de biocombustíveis, pode amenizar ou até mesmo anular as desvantagens do uso da água de reúso na produção agrícola. Para se evitar a contaminação do aquífero freático por NO_3^- , Veloso; Duarte; Silva (2004) recomendam o cultivo de culturas que demandam grandes quantidades de nitrogênio.

2.5.2.5 Quanto ao sistema de irrigação localizado

Há fatores físicos, químicos e biológicos presentes no esgoto que podem promover a obstrução dos gotejadores. Dentre os quais: a formação de depósitos gelatinosos, resultantes da interação entre mucilagens bacterianas e algas, tem sido o principal desafio no entupimento de gotejadores (RAVINA *et al.*, 1997).

Segundo Batista; Souza; Ferreira (2010), a formação do biofilme no interior dos gotejadores acarreta mudanças no regime de escoamento e deposição de partículas sobre os mesmos. Ainda segundo os autores, com o aumento da massa do biofilme ocorre os

entupimentos parciais e totais dos emissores, reduzindo a vazão dos gotejadores e na uniformidade de distribuição de água.

Resende; Coelho; Piedade (2000), avaliando a suscetibilidade de cinco tipos de gotejadores ao processo de entupimento de origem biológica, constataram que o entupimento de causa biológica mostrou-se mais relacionado à arquitetura interna dos emissores do que a parâmetros de vazão e diâmetro do orifício.

Pletsch *et al.* (2009), avaliando o desempenho de gotejadores, antes e após 500 e 1000 horas de ensaio, com esgoto doméstico tratado, constataram que após as 500 horas houve redução dos coeficientes de uniformidade de distribuição de 98% para 95 %, ainda classificados pela ASAE (1996) como excelentes. Contudo, após 1000 horas de uso do tubo gotejador, o CUD foi de 60,79%, sendo classificados como ruins pela ASAE (1996). Rav-Acha *et al.* (1995) verificaram diminuição de 68% na vazão nominal de gotejadores após 60 horas de ensaio com esgoto doméstico tratado.

Para Ravina *et al.* (1992) a deterioração da membrana de autocompensação pela atividade microbiana proporciona aumento da vazão em gotejadores autocopensantes.

2.6 O girassol (*Helianthus annuus*)

2.6.1 Histórico, origem e dispersão

Do conhecimento mítico, o girassol foi originado a partir do amor não correspondido de uma ninfa aquática por Apolo, o deus do sol. Por não ser correspondida, Clítia decidiu ficar durante todo o dia sobre o chão sem comer nem beber, alimentando-se somente das próprias lágrimas e do frio orvalho, contemplando o sol, desde que ele se erguia no nascente, até se esconder no poente, permanecendo assim por nove dias. Um dia, seus pés enraizaram-se no chão, seu rosto se transformou em uma flor que se movia constantemente em seu caule, de maneira a estar sempre voltada para o sol, em seu movimento diário (BULFINCH, 2000).

A origem do girassol tem causado muita controvérsia entre os estudiosos. Por vários anos, acreditou-se que girassol tinha como centro de origem o Perú, tese contestada por evidências arqueológicas encontradas nos Estados de Arizona comprovaram que o girassol já era utilizado por índios norte-americanos o que lhe dava o título de centro de origem do

girassol. Entretanto, entre os anos de 1997 e 2000, pesquisas realizadas no México descobriram resquícios arqueológicos datados de 2875-2575 a.C. e 2867-2482 a.C. A quantificação das idades levou à conclusão de que eles são pelo menos 1.200 anos mais velhos que os indícios encontrados no leste dos Estados Unidos, que até então eram considerados os mais antigos. (AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005).

Atualmente, a hipótese mais aceita é que esta cultura seja originária do girassol silvestre, planta que vegeta espontaneamente nos campos cultivados por indígenas dos Estados Unidos onde é considerada uma planta infestante (AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005).

Em meados de 1510, o girassol foi levado por colonizadores, do continente americano para a Espanha (PUTT, 1997), e em seguida disseminados para vários países Europeus, com Itália, França, Bélgica, entre outros (ROSSI, 1998).

2.6.2 Classificação botânica, morfológica e fisiológica

O nome originado do italiano, formado por *gira (re)*, “girar”, e *sole*, “sol”, que significa na íntegra girar para o sol, denominação dada pelo posicionamento alternado da inflorescência, que no início de sua floração até a antese se encontrar voltada para o lado de onde provém a luz do sol, e a partir de então se posiciona na direção leste (ACOSTA, 2009). Pertencente ao gênero *Helianthus*, *hélíos*, “sol” e *anthos*, “flor” que também faz menção ao movimento da flor em relação ao sol, movimento este conhecido como heliotropismo. (OLIVEIRA; CASTIGLIONI; CARVALHO, 2005).

É um gênero complexo, compreendendo 49 espécies e 19 subespécies, sendo 12 espécies anuais e 37 perenes. O girassol cultivado, *Helianthus annuus* L. pertence à tribo Heliantheae, família Asteraceae e ordem Asterales OLIVEIRA; CASTIGLIONI; CARVALHO, 2005. Ungaro (2000), também menciona o *Helianthus . tuberosus* L., o “Jerusalem artichoke”, como cultivado, de interesse para alimentação (UNGARO, 2000).

2.6.3 Exigências climáticas e edáficas

O solo deve ser preparado de forma a fornecer condições ideais, para uma germinação rápida e uniforme das sementes, permitindo o bom aproveitamento de água e nutrientes do solo durante o desenvolvimento da planta. Quando se tem sementes de boa qualidade plantadas sob condições adequadas de solo e clima, a emergência ocorre aos cinco ou sete dias após a semeadura (CASTIGLIONI *et al.*, 1997).

No geral as sementes devem ser depositadas entre 4 a 5 cm de profundidade (SILVEIRA *et al.*, 2005). Quando a profundidade excede a 5 cm, em condições de chuvas torrenciais ou ausência de água na camada de 10 a 15 cm de solo, podem prorrogar o período para até 15 dias, ocasionando enfraquecimento das plântulas, baixo estande e atraso na fase inicial de crescimento. Problemas que também afetam na população de plantas, e que se estendem até a colheita (CASTIGLIONI *et al.*, 1997).

As necessidades hídricas do girassol aumentam com o desenvolvimento da planta, iniciando com 0,5 a 0,7 mm dia⁻¹ durante a fase de germinação à emergência, até o máximo de 6 a 8 mm dia⁻¹ na floração e enchimento de grãos, decrescendo após este período até a maturação fisiológica da planta (CASTRO; FARIAS, 2005).

Entender a evolução da planta durante o cultivo é fundamental para a tomada de decisões. Da emergência aos 30 dias (aparecimento do botão floral) o crescimento é lento, consumindo pouca água e nutrientes, contudo, a partir desse período até o final do florescimento o crescimento é rápido, intensificando o consumo de água e de nutrientes (CASTRO *et al.*, 1997).

2.6.4 Variáveis agronômicas:

As variáveis agronômicas do girassol estão diretamente relacionadas à disponibilidade hídrica, condições ambientais e ao estado nutricional e fitossanitário da cultura. Segundo Zagonel; Mundstock (1991), a altura da planta é reflexo das condições nutricionais no período de alongamento do caule. Gomes *et al.* (2007) trabalhando com 12 genótipos de girassol em São Luis, MA observou altura média das plantas em torno de 63,9 cm. Já Azevedo *et al.* (2008), avaliando 26 genótipos em Paragominas, DF observaram valores

médios de 128,4 cm, resultados bem superiores aos observados por Gomes *et al.* (2007), reforçando a hipótese de que há vários fatores que interagem no desenvolvimento da cultura.

O diâmetro do caule é uma característica muito importante no girassol, pois permite que ocorra menos acamamento da cultura e facilita seu manejo, tratos e colheita (ZAGONEL; MUNDSTOCK, 1991).

As folhas são órgãos que retratam mais rapidamente e de forma singular os sintomas de deficiências na planta, seja nutricional (amarelecimento, clorose internevural, queimadura nas bordas, etc.), patogênico (mosaico, engilhamento, etc.) ou hídrico. Sendo a folha o órgão da planta que mais percebe a deficiência hídrica, diante da situação de déficit hídrico, as plantas tentam se ajustar reduzindo o seu número e posteriormente o seu tamanho (CASTRO; FARIAS, 2005).

No girassol o número total de folhas oscila entre 25 a 40 nas cultivares comerciais e varia consideravelmente em função do ciclo da planta e das condições ambientais impostas no início do desenvolvimento (CASTIGLIONI; OLIVEIRA, 1999). Contudo, para Belaygue *et al.* (1996) o número de folhas do girassol, já é determinado geneticamente.

O diâmetro do capítulo é um dos indicativos bastante variáveis quanto às condições de cultivo, e que pode ser utilizado para se prospectar o rendimento da cultura. Azevedo *et al.* (2008), trabalhando com 26 genótipos de girassol em Paragominas, DF, observaram variação de 11,1 cm a 17 cm de acordo com o genótipo, oferecendo um indicativo de adaptação do genótipo ao local.

Segundo Zagonel; Mundstock (1991), a massa de aquênios é o resultado da capacidade da planta de suprir nutrientes até o limite potencial estabelecido para cada cultivar. Em geral, há uma grande diversidade de respostas especialmente associadas ao número de aquênios previamente fixados. Azevedo *et al.* (2008) avaliando 26 genótipos de girassol em Paragominas, DF, observaram massa média de mil aquênios variando de 35,1 g a 71,8 g de acordo com o genótipo, a média determinada entre todos genótipos foi de 53,7 g.

A produtividade é bastante vulnerável quanto às variáveis da própria cultura (genética) como das variáveis externas como o clima, disponibilidade hídrica e nutricional. Martins; Lessa; Pitombeira, (2008) em estudo conduzido no município de Pentecoste, CE, avaliando o desempenho de dezenove genótipos de girassol irrigados por sulcos, constataram produtividades máximas entre 3079 a 3321 Mg ha⁻¹. Gomes *et al.* (2007), também trabalhando com diferentes genótipos, sem irrigação em São Luis, MA observaram produtividade máxima 548,1 kg ha⁻¹.

O teor de óleo das sementes é fundamental para a viabilização da cultura destinada ao biodiesel. A indústria já estuda possibilidades de pagar pela qualidade do produto, teor de óleo das sementes. Segundo Mandarino (1992), um dos objetivos principais do melhoramento genético do girassol se deve à obtenção de cultivares com elevado teor de óleo. Gomes *et al.* (2007) trabalhando com 12 genótipos verificou concentração média de teor de óleo de 44%.

2.6.5 Multissol

Lançada em 2004 pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI, por meio do Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes – DSMM. A Mutisssol é derivada da cultivar Catisol 01, por meio da seleção massal clássica (SÃO PAULO, 2010).

A variedade Multissol possui porte ereto, altura da planta de aproximadamente 1,80 m, sem ramificações e dotada de pelos ásperos, apresenta boa uniformidade de maturação, rusticidade excepcional, boa produtividade, sendo indicada para a alimentação de pássaros, produção de grãos, adubação verde e produção de óleo, tanto para alimentação humana quanto para a produção de biodiesel (SÃO PAULO, 2010).

Essa variedade pode ser plantada o ano todo, porém é suscetível a algumas doenças no período mais chuvoso. A correção da acidez do solo é importante para que as raízes se aprofundem e exerçam a sua função de extrair nutrientes, por isso o pH deve se situar acima de 5,2 (SÃO PAULO, 2010).

2.6.6 Exigências nutricionais

A ordem de extração de macronutrientes pela cultura do girassol obedece à seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > P = S$. Nas seguintes proporções: 346 kg ha⁻¹ de K₂O; 150 kg ha⁻¹ de N; 116 kg ha⁻¹ de Ca; 42 kg ha⁻¹ de Mg e somente 24 kg ha⁻¹ de S. e P (CASTRO *et al.*, 2010).

2.6.6.1 Adubação nitrogenada

O nitrogênio desempenha importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol, é o nutriente que mais limita a sua produção. Já foi registrada redução de até 60% no rendimento do girassol quando a deficiência em nitrogênio (SMIDERLE; GIANLUPPI; GIANLUPPI, 2002 e SMIDERLE; GIANLUPPI; GIANLUPPI, 2003).

Biscaro *et al.* (2008), observaram efeito positivo do incremento das variáveis vegetativas do girassol em função do aumento das doses nitrogenadas, em Cassilândia-MS, obtendo valores máximos de diâmetro do caule (18,4 mm), altura da planta (114,7 cm) e número de folhas (29,2) com 47,8 kg ha⁻¹, 72,9 kg ha⁻¹ e 80 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O crescimento parabólico observado pelos referidos autores, para estas variáveis com aumento das doses nitrogenadas, revela que não só a deficiência, mas também o excesso de nitrogênio pode prejudicar o desenvolvimento da cultura.

O número de aquênios por capítulo é um reflexo da ação do nitrogênio na fase crítica da diferenciação floral, afetando diretamente o diâmetro do capítulo (ZAGONEL; MUNDSTOCK, 1991). O diâmetro do capítulo é uma das características morfológicas mais afetadas pela adição de nitrogênio, evidenciando aumentos mesmo com doses pequenas (25 kg ha⁻¹ de N) (SAMENI *et al.*, 1976). Biscaro *et al.* (2008), constataram aumento do diâmetro do capítulo com o incremento da adubação nitrogenada, obtendo valores máximos de 11,9 cm com 44,9 kg ha⁻¹ de nitrogênio, registrando a partir de então queda do diâmetro.

A massa de mil aquênios também pode aumentar significativamente com o incremento da adubação nitrogenada. Carvalho; Pissaia (2002), trabalhando com cobertura nitrogenada, observaram aumento da massa de 1000 aquênios até 71 g, com a dose máxima de 125 kg ha⁻¹ de N. Já Biscaro *et al.* (2008) constataram massa máxima 71,9 g, obtida com 44,9 kg ha⁻¹ de N.

Zagonel; Mundstock (1991), alcançaram rendimentos máximos 2125 kg ha⁻¹ de aquênios, com 80 kg ha⁻¹ de N. Já, Biscaro *et al.* (2008), obtiveram produtividade de 2.101 kg ha⁻¹ com 51,7 kg ha⁻¹ de N.

Em oleaginosas, o nitrogênio influencia o metabolismo de síntese de compostos de reserva nas sementes, determinando o equilíbrio nos teores de óleo e proteínas acumulados (CASTRO *et al.*, 1999). Smiderle *et al.* (2002) constataram redução de até 19% na concentração de óleo quanto à adubação excessiva de nitrogênio.

Leite; Brighenti; Castro (2005), interagindo os fatores de eficiência econômica da adubação nitrogenada, produtividade, teor de óleo e a sanidade vegetal, recomendam adubação nitrogenada na ordem de 40 a 60 kg ha⁻¹ de N. Também é recomendado o parcelamento da adubação nitrogenada, principalmente em solos arenosos, sendo aplicados 1/3 da adubação no plantio, o restante com 30 dias após a emergência das plantas, juntamente com aplicação de 1,0 kg ha⁻¹ de boro (LEITE; BRIGHENTI; CASTRO, 2005).

2.6.7 Exigência hídrica do girassol

A área foliar é uma importante variável vegetativa que determina o consumo de água pelas plantas, está relacionada diretamente com o potencial produtivo da cultura, sendo severamente inibida quando exposta ao déficit hídrico prolongado (FERNÁNDEZ *et al.*, 1996).

O deficit hídrico aumenta a senescência das folhas (WRIGHT *et al.*, 1983). Segundo Wolfe *et al.* (1988), isto se deve, porque o solo seco não pode fornecer nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura, desta forma, o nitrogênio é transportado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento; entretanto, a intensidade da senescência depende da quantidade de nitrogênio no solo, das reservas de nitrogênio na planta e da demanda de nitrogênio dos pontos de crescimento.

Toureiro; Serralheiro; Oliveira (2007) observaram que, sob irrigação deficitária do girassol, houve redução do índice de área foliar, devido à senescência antecipada das folhas neste período, quando comparada com a cultura sem déficit hídrico. Ainda segundo os autores, isto é uma adaptação da cultura à deficiência hídrica.

O girassol é uma cultura bem adaptada às restrições hídricas, capaz de se adaptar com a disponibilidade de água no solo, como a capacidade de aprofundamento do sistema radicular da cultura, sob restrição hídrica (TOUREIRO; SERRALHEIRO; OLIVEIRA; 2007). O que não significa que a falta de água, em determinados momentos não afetará seu desenvolvimento e, conseqüentemente, a produção do girassol (FARIAS NETO *et al.* 2000).

As necessidades hídricas do girassol ainda não estão perfeitamente definidas, existindo informações que indicam desde menos de 200 mm até mais de 900 mm de água por ciclo. Consumo que varia em função das condições climáticas, da duração do ciclo, do solo e da cultura (SILVA, 1990). Na maioria dos casos, 400 a 500 mm de água bem distribuídos

durante o ciclo da cultura resultam em rendimentos próximos ao potencial máximo de produção do girassol (CASTRO; FARIAS, 2005).

A necessidade hídrica do girassol aumenta com o desenvolvimento da planta, partindo de 0,5 a 1 mm dia⁻¹ durante a fase da semeadura à emergência e 6 a 7 mm dia⁻¹ na floração e no enchimento de grãos, decrescendo após esse período (CASTRO, 1999). Dias (1995), pesquisando o consumo hídrico do girassol na região de Lavras, Estado de Minas Gerais, observou que o consumo hídrico está relacionado com a disponibilidade de água no solo, variando com o estágio fenológico. Ainda segundo o autor, o consumo total de água durante o ciclo do girassol foi de 508,8 mm, apresentando uma média diária de 5,35 mm.

Segundo Acosta (2009), o consumo hídrico da cultura do girassol irrigado na região da chapada do Apodi – RN é de 554,1 mm, corroborando com Silva *et al.* (2007), ao observarem incrementos médios na altura de plantas, da ordem de 16,41, 15,63 e 18,75% nos tratamentos irrigados L1 (350,84 mm), L2 (428,70 mm) e L3 (522,14 mm), respectivamente, comparados com o tratamento não irrigado L0 (117,20 mm). Ainda segundo os autores a maiores médias de altura da planta (1,51 m) foi obtida com 522,14 mm de água por ciclo.

Gomes *et al.* (2005) constataram redução de produtividade na ordem de 30% no cultivo sob déficit hídrico, quando comparado com as plantas com status hídrico adequado. Desta forma, a irrigação é uma prática agrícola fundamental para se melhorar a eficiência de produção ou mesmo evitar prejuízos agrônômicos (AZEVEDO; AMABILE; SILVA, 1998).

Segundo Unger (1990), com o cultivo de girassol irrigado têm-se rendimentos de 2500 a 3500 kg ha⁻¹ de aquênios. Silva *et al.* (2007), avaliando o efeito da disponibilidade hídrica (sequeiro, 75% ETc, 100% ETc e 130% ETc) nas variáveis produtivas do girassol em Lavras – MG, constataram que a irrigação promoveu elevação na produtividade de grãos, sendo que o tratamento referente a 130% da Etc proporcionou o melhor rendimento de aquênios 2863,12 kg ha⁻¹. Já Acosta (2009), em experimento realizado na Chapada do Apodi – RN, observou de produtividade de 2.260 kg ha⁻¹ com lâmina de 626,4 mm.

A formação das sementes é o período mais sensível ao déficit hídrico, causando reduções severas tanto no rendimento quanto no teor de óleo dos aquênios (ANDRADE, 2000). Segundo Gimenez *et al.* (1975) e Unger *et al.* (1976), aquênios procedentes do cultivo irrigado, apresentam maiores rendimentos em óleo. Corroborando com Silva *et al.* (2007), ao constatarem que a elevação da disponibilidade hídrica proporcional ao aumento na concentração de óleo, atingindo valores máximos de 675,57 kg ha⁻¹ com 130% da ETc.

2.6.8 Esgoto doméstico na irrigação do girassol

Entre as grandes preocupações que se tem na atualidade, a degradação das águas subterrâneas vem se destacando. Para Nunes (2000), a expansão da agricultura irrigada, com o uso indiscriminado da água e dos fertilizantes químicos e a degradação dos recursos hídricos superficiais pela falta de infra-estrutura dos esgotos sanitários, agrava a degradação do meio ambiente. Desta forma, a utilização do esgoto doméstico tratado como fonte hídrica, para irrigação racional do girassol, pode ser uma alternativa ambientalmente correta.

Oliveira *et al.* (2007), trabalhando com esgoto doméstico na produção do girassol não encontraram diferença entre os tratamentos, T1 – Testemunha absoluta, irrigação com água de poço mais adubação recomendada pela análise de solo; T2 – Irrigação com esgoto tratado mais adubação recomendada pela análise de solo; T3 – Irrigação com esgoto tratado sem adubação recomendada pela análise de solo; T4 – Irrigação com esgoto tratado mais a metade da adubação recomendada pela análise de solo. A produtividade média observada foi de 1.700 kg ha⁻¹, não havendo diferenças estatísticas entre os tratamentos.

2.7 Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)

2.7.1 Histórico, origem e dispersão

A cana-de-açúcar é originária da Nova Guiné e foi levada para o sul da Ásia, onde foi extraído o açúcar em forma de xarope. Sua propagação deveu-se aos árabes, que se lançaram no século VII à conquista de um vasto império. À medida que a conquista de novas terras se concretizava, a cana-de-açúcar acompanhava os conquistadores. Ainda no mesmo período, os chineses a levaram para Java e Filipinas. Com as conquistas dos árabes no Ocidente a partir do século VIII, o cultivo da cana-de-açúcar chegou às margens do mar Mediterrâneo. Devido ao clima mediterrâneo a cana-de-açúcar não prosperou na Europa. No século XIV continuou a ser importada do Oriente em escala modesta, por toda a região mediterrânea. A guerra entre Veneza e os turcos levou à procura de outros centros abastecedores. Desta maneira, surgiram culturas nas ilhas da Madeira e Canárias, implantadas pelos portugueses e espanhóis, respectivamente (MOZAMBANI *et al.*, 2006).

Na época das grandes navegações e com a descoberta do Brasil, os portugueses introduziram a cana-de-açúcar na nova colônia. As primeiras mudas de cana-de-açúcar foram introduzidas no Brasil por volta de 1532, por Martin Afonso de Souza. Em 1533, a cana já era cultivada na Capitania de São Vicente, no litoral paulista, próximo à cidade de Santos, dando origem ao primeiro engenho de açúcar, denominado São Jorge dos Erasmos (CHAVES *et al.*, 2003).

Em fins do século XVI, os Estados de Pernambuco e Bahia contavam mais de uma centena de engenhos, tendo a cultura em crescente expansão, de tal modo que o Brasil, até o fim do século XVIII, liderou a produção mundial de açúcar, com grande penetração no mercado europeu (MOZAMBANI *et al.*, 2006). Contudo, Castilho (2000) relatou que na passagem do século XVII para XVIII, o açúcar brasileiro começou a sofrer a concorrência da produção das Antilhas, além das restrições impostas à sua entrada nas metrópoles inglesa, francesa e holandesa.

Em junho de 1933, o governo provisório da República criou o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), para fomentar a produção de álcool anidro e favorecer por meio de auxílios financeiros a criação de cooperativas que se destinassem a montar destilarias centrais, de interesse regional (TRUDA, 1934). Nessa época, o IAA adotava o regime de cotas, que atribuía a cada usina uma quantidade de cana a ser moída, a produção de açúcar e também a de álcool. A aquisição de novos equipamentos ou a modificação dos existentes também precisava de autorização do IAA.

Diante da boa adaptação da cana-de-açúcar e as grandes extensões de terras, para seu cultivo, o Brasil vem se destacando ao passar dos anos e na atualidade tornou-se o principal produtor de cana-de-açúcar no mundo.

2.7.2 Classificação botânica, morfologia e fisiologia

Segundo Daniels; Roach (1987), trata-se de uma espécie alógama, da família Gramíneae (Poaceae) tribo Andropogoneae, gênero *Saccharum*.

O sistema radicular da cana-de-açúcar pode atingir até 5 m de profundidade, mas em áreas irrigadas 100 % da água é extraída de 1,2 a 2,0 m de profundidade (DOORENBOS; KASSAN, 1979). Segundo Blackburn (1984), 85% do sistema radicular da cana-de-açúcar encontra-se até os 60 cm de profundidade do solo. Já Sampaio *et al.* (1987) afirmam que 75%

das raízes encontram-se nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e que 55% delas estavam concentradas num raio de 30 cm da touceira.

As folhas consistem de uma lâmina e uma bainha envolvendo o colmo, distribuindo-se de forma alternada e oposta (Blackburn, 1984). O colmo é cilíndrico, ereto, fibroso e constituído de nós e internódios, podendo atingir até 5,0 m de altura, o diâmetro pode variar desde menos de 1,0 cm até 5,0 cm. No mesmo colmo uma seqüência de internódios encontra-se sob diferentes estados fisiológicos (maturados, em maturação e imaturos) e, à medida que o colmo se desenvolve, sua taxa de crescimento diminui progressivamente até ser nula, quando amadurece (MACHADO, 1987). A densidade de colmos por unidade de área é um dos componentes que mais afetam a produtividade da cana (MATHERNE; IRVINE, 1978 *apud* MACHADO, 1987).

2.7.3 Exigências climáticas e edáficas

A cana-de-açúcar é uma cultura bem adaptada ao clima brasileiro, cultivada tanto no Nordeste quanto no Sudeste. No Brasil, as variações climáticas possibilitam duas épocas de colheitas anuais, uma no norte-nordeste de setembro a abril e a outra no centro-sul de junho a dezembro (ALFONSI *et al.*, 1987).

As temperaturas entre 25 a 33°C são consideradas ideais para o cultivo. Temperaturas de solo entre 30 e 33°C atuam de forma positiva na germinação das gemas, e favorece o perfilhamento (CASAGRANDE, 2008). No período de maturação, temperaturas em torno de 20°C são consideradas ideais.

A luz também é um fator importante no cultivo da cana-de-açúcar, a germinação e o perfilhamento são favorecidos com aumento da intensidade luminosa. Devido à alta eficiência fotossintética da cultura, quanto maior for a intensidade luminosa mais fotossíntese será realizada, o teor de sacarose no caldo é diretamente influenciado pela quantidade de luz (BRUNINI, 2008). O crescimento do colmo aumenta para comprimento de dias de 10 a 14 horas e diminui em condições de fotoperíodos longos de 16 a 18 horas.

2.7.4 Principais produtores e potencialidade da cultura

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido por Índia, Tailândia e Austrália (AGRIANUAL, 2006). Na safra 2006/2007 foram produzidas 425 milhões de toneladas de cana pelo setor sucroalcooleiro, possibilitando a produção de 17,5 bilhões de litros de álcool e 29,5 milhões de toneladas de açúcar. Conforme UNICA (2007), a projeção para a safra 2012/13 é de uma colheita de aproximadamente 700 milhões de toneladas de cana para uma produção de 36 bilhões de litros de álcool e 39 milhões de toneladas de açúcar. Com essa estrutura dual, a agroindústria canavieira é capaz de reagir rapidamente às oscilações nos mercados internacionais, o que representa uma vantagem competitiva em relação aos países que produzem apenas açúcar.

A produtividade nacional é de aproximadamente 81,5 Mg ha⁻¹. A região Sudeste destaca-se com a maior produção e produtividade nacional com 392,60 milhões de toneladas e 86,47 t ha⁻¹, respectivamente. Em São Paulo, há aproximadamente 60.000 fornecedores independentes com propriedades menores de 150 hectares, que vendem a cana para a indústria e contribuem com 27% da produção total (ORGANIZAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL, 2006).

O Nordeste representa 11,8% da produção nacional, com um rendimento aproximado de 65,4 Mg ha⁻¹. O Ceará, ainda tem pouca expressão sobre a produção canavieira do Nordeste, contribuindo com aproximadamente 0,16% da produção regional (ORGANIZAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL 2006, BRASIL, 2008).

2.7.5 Variáveis agronômicas

Silva *et al.* (2008), avaliando as Componentes de produção como indicadores de tolerância à seca em cana-de-açúcar, observaram correlação linear entre produtividade e as variáveis de crescimento. Ainda segundo os autores, a altura de colmos apresentou correlação positiva com número, diâmetro e massa de colmos. O diâmetro de colmos também apresentou correlação positiva com massa de colmos.

Dantas Neto *et al.* (2006), avaliando o desempenho da cana-de-açúcar sob a disponibilidade hídrica, observaram aumento linear dos parâmetros de crescimento (comprimento do colmo, diâmetro do colmo e número de internódios do colmo). Contudo, para a característica produtiva, apenas a sacarose (POL), teve efeito significativo, com crescimento quadrático. Ainda segundo os autores, o rendimento bruto de açúcar e de álcool depende do rendimento do colmo e da percentagem bruta de açúcar do caldo (PCC).

Souza *et al.* (2008), trabalhando com 18 variedades de cana-de-açúcar, no município de Jaboticabal-SP, observaram médias de: 2,79 m para altura de planta; 2,54 cm para diâmetro do colmo e 120,66 Mg ha⁻¹ de colmos. Já, Nascimento *et al.* (2010), avaliando 11 variedades de cana em Carpina-Pe, constataram produtividades de 80,03 e 196,08 Mg ha⁻¹ de colmo para a cultura sob cultivo de sequeiro e irrigado, respectivamente. Maule *et al.* (2001) observaram produtividade média de 175,11 Mg ha⁻¹ de colmos, para cana 9 variedades de cana, cultivada em solo Podzólico Vermelho Amarelo no município de Castilho-SP.

2.7.6 A variedade SP 71 6949

A cana-de-açúcar variedade SP71-6949 apresenta maturação média, teor médio de sacarose, bom perfilhamento. É pouco exigente em fertilidade do solo, teor de fibra de médio a alto, boa brotação das soqueiras, florescimento fácil, poucos pelos e fácil despalha (ANDRADE, 2001).

Silva (2002), trabalhando com cana-de-açúcar, variedade SP 71 6949, irrigada na Paraíba, constatou peso médio por colmo de 1384,17 g, produtividade superior ao observado por Azevedo (2002) e Dantas Neto *et al.* (2006) que também trabalhando com a cana-de-açúcar (variedade SP79-1011) irrigada, também na Paraíba, obtiveram peso médio por colmo de 917,00 g e 1077,50 g. Diferença que pode estar atribuída à melhor adaptação da variedade SP-716949 para a região.

Gonçalves (2010), trabalhando com a SP 71 6949, irrigada por gotejamento subsuperficial em Paraipaba, CE, determinou por meio da evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cultura que a cultura necessita de 1.074,12 mm de água durante seu ciclo.

2.7.7 Exigências nutricionais

O potássio e o nitrogênio são os macronutrientes mais exigidos pela cana-de-açúcar. Segundo Coleti *et al.* (2006), a quantidade de macronutrientes extraídos durante a produção da cana obedece à seguinte ordem: K>N>P>Mg>Ca. Contudo, Oliveira (2008), trabalhando com 11 variedades de cana-de-açúcar irrigada, em Carpina-PE, constatou que com a produtividade de 196 t ha⁻¹ de cana foram exportados em média 98, 15, 184, 193 e 63 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

2.7.7.1 Nitrogênio

A necessidade do N pela cana-de-açúcar é crucial no período da formação da cultura, que vai do período imediatamente após a germinação até o fechamento do canavial, que ocorre normalmente, entre o terceiro e o quinto mês. A deficiência de nitrogênio na cana-de-açúcar pode levar a efeitos generalizados sobre toda a planta, dentre os sintomas observados destacam-se: o definhamento das folhas mais velhas; amarelecimento generalizado das folhas, iniciando com as mais velhas; colmos curtos e finos; atraso no desenvolvimento vegetativo (ORLANDO FILHO *et al.*, 1994).

Segundo Franco (2008), a adubação nitrogenada aumenta o teor de açúcar do canavial de modo a se obter maior rendimento por hectare. Azeredo (1997) avaliando o efeito de quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) em cana-de-açúcar, observou que a aplicação de nitrogênio resultou em resposta diferenciada sobre o desenvolvimento e produção final de colmos e de açúcar na cana-planta, contudo não foram suficientes para afetar os teores de Pol, fibras e açúcares totais da cana.

Silva *et al.* (2009), trabalhando com cana-de-açúcar, variedade SP 71 6949, sob quatro níveis de adubação de nitrogênio e potássio, observaram que apenas a produtividade de colmos aumentou significativamente em função da dose de adubação, obtendo-se o máximo rendimento de colmos 108,21 Mg ha⁻¹ com adubação de 236 kg de N ha⁻¹ e 222 kg de K₂O ha⁻¹.

Por se tratar de uma cultura de alto rendimento por hectare, a cana pode exaurir os nutrientes presentes no solo. A cada 100 toneladas de colmos produzidos, são extraídos do

solo aproximadamente 150, 40, 180, 90, 50 e 40 kg de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente. Já com relação aos micronutrientes são exportados em torno de 8,0 kg; 3,0 kg; 0,6 kg; 0,4 kg; e 0,3 kg de ferro, manganês, zinco, cobre e boro, respectivamente (OLIVEIRA *et al.*, 2002; ORLANDO FILHO, 1993).

A remoção de cátions básicos pelas colheitas, pode contribuir para baixar o pH do solo, este quando ácido associado aos altos teores de alumínio trocável prejudica o crescimento do sistema radicular e conseqüentemente a produtividade, motivo pelo qual a correção do solo, tem sido prática comum para cultivo da cana-de-açúcar (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

2.7.8 Exigência hídrica da cana-de-açúcar

A necessidade hídrica é um dos principais fatores que limita a produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). O déficit hídrico pode provocar alteração no desenvolvimento da planta, redução da área foliar e produtividade (KRAMER, 1983).

O consumo hídrico diário da cana-de-açúcar pode variar de 2,8 a 8,6 mm dia⁻¹ (ROSENFELD, 1987). No Brasil as necessidades hídricas diárias estão entre 2,0 a 6,0 mm, de acordo com a variedade, estágio de desenvolvimento e condições climáticas (BERNARDO, 2008). O período de maior demanda hídrica ocorre aproximadamente aos 8 meses de vida, quando se registra o período de máximo crescimento vegetativo para cana (VALERA, 2002).

São necessários entre 1500 a 2000 mm de água bem distribuídos durante o ciclo da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Dantas Neto *et al.* (2006), testando quatro níveis de irrigação (807, 986, 1164, 1343 mm) no cultivo da cana-de-açúcar, primeira soca, observaram aumento linear das variáveis vegetativas (comprimento do colmo, diâmetro do colmo e número de internódios do colmo). Já para as variáveis produtivas, apenas a sacarose (POL), teve efeito significativo, com crescimento quadrático.

Coelho *et al.* (2002), trabalhando com cana-soca, em Pompeu, MG, sob irrigação suplementar, verificaram comprimento médio de colmo de 102,2 cm sem irrigação e 253,7 cm com irrigação. Silva (2002), pesquisando da cana-de-açúcar, variedade SP-716949, irrigada sob diferentes doses de adubação, na Paraíba, observou peso médio de colmo de 1384,17 g.

Souza *et al.* (1999) e Maule; Mazza; Marthar Júnior (2001) observaram produtividades em torno 155 Mg ha⁻¹ com aproximadamente 1500 mm de água. Segundo

Oliveira *et al.* (2002), sob irrigação complementar a produtividade de colmos pode ultrapassar a 160 t ha⁻¹.

Azevedo (2002), trabalhando com a cana, variedade SP79-1011, nos tabuleiros costeiros da Paraíba, observou produtividades de 52, 79, 93 e 92 Mg ha⁻¹ para precipitação efetiva mais irrigação de 609, 761, 905 e 1043 mm, respectivamente, após doze meses de cultivo.

Farias (2001) constatou incremento de 28,26 Mg ha⁻¹ quando comparado à produtividade da cana irrigada e sob cultivo de sequeiro. Corroborando com Dantas *et al.* (2006), ao observar acréscimo de 21,67 Mg ha⁻¹ na produção de colmos da cana irrigada quando comparada ao de rendimento em sequeiro.

Embora haja uma tendência do aumento das variáveis produtivas com o aumento da disponibilidade hídrica, o excesso de água no solo também é prejudicial à produção da cana-de-açúcar. Dantas Neto *et al.* (2006) obteve melhores resultados para as variáveis, rendimento de colmos, °Brix, sacarose, percentagem bruta de açúcar e álcool, de 104 t ha⁻¹, 18,67%, 16,67%, 13,33% e 10,00%, com a lâmina de irrigação de 1164 mm, quando comparado aos obtidos com a lâmina de 1343 mm, de 85,00 t ha⁻¹, 18,67%, 16,67%, 13,67% e 8,33%, respectivamente.

Aguiar (2006), trabalhando com a cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento subsuperficial, na Usina São Martinho, São Paulo, observou produtividade média de 155 t ha⁻¹ no oitavo corte, com isso, o autor afirma ter obtido redução dos custos de produção da cana-de-açúcar entre 15 a 25%.

Ao longo de 15 anos de pesquisa na Venezuela, sobre irrigação localizada subsuperficial em cana-de-açúcar, Leiva; Barrantes (1998) indicam que a frequência de irrigação para a cultura deve ser de 3 a 5 dias.

2.7.9 Reúso de água

A cana-de-açúcar pode ser considerada como depuradora de água, considerando a grande quantidade de nutrientes exportados pela cultura (ALVES JUNIOR *et al.*, 2004). Para Endres *et al.* (2006), por se tratar de uma cultura semi-perene o sistema radicular da cana oferece reposição contínua de material orgânico ao solo, reestruturando-o e ativando a porção viva do ambiente (microrganismos e micro-fauna), melhorando as condições de retenção de

água. Leal *et al.* (2009) não observaram aumento significativo das concentrações de nutrientes N, P, K e Mg no colmo da cana-de-açúcar irrigada com esgoto.

Deon (2010), avaliando a reciclagem de água e nutrientes pela cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado, observou concentrações de 32 kg ha^{-1} de N-NO_3^- e $2,86 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_4 disponíveis em até 1 m de profundidade, após 1 ano de pesquisa. Ainda segundo o autor esta concentração não é elevada, já que são recomendados $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$ para adubação da cana-soca.

Entre os desafios para a utilização do esgoto doméstico tratado para a irrigação da cana-de-açúcar está a condutividade elétrica da água de reúso. Segundo Lingle; Weidenfeld; Irvine (2000), o uso de água de irrigação com condutividade elétrica de até $1,25 \text{ dS m}^{-1}$ não promove danos ao desenvolvimento da cana-de-açúcar, porém, água com condutividade elétrica acima deste valor promove redução do comprimento do colmo, peso fresco, número de internódios, biomassa da parte aérea, número de colmos e massa total de colmos.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi, RN**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

AGNOL, A. D.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. B. C. Origem e histórico do girassol. *In*: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: EMBRAPA, 2005. Cap. 1, p. 1-12.

AGUIAR, F. L. Cana-de-açúcar: de gota em gota. *In*: FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2006. p. 227-248.

ALFONSI, R. R. *et al.* Condições climáticas para a cana-de-açúcar. *In*: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALMEIDA, A. M; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. Comportamento hidráulico de gotejadores em linha lateral de irrigação. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 6, n. 11, p. 129-140, 2006.

ALVES JUNIOR, J. *et al.* Potencial de crescimento da agricultura irrigada com reúso de água. **ITM**, Brasília, n. 61/62, p. 78-80, 2004.

ANDRADE, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar. *In*: CARDOSO, M. G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, 2001. p. 19-49.

ANDRADE, S. J. **Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2000. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ARAÚJO, L. F. P. **Lagoas de estabilização na Região Metropolitana de Fortaleza – RMF: Qualidade e potencialidades de reuso de efluente final**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

ARAÚJO, L. F. P. **Reúso com lagoas de estabilização: potencialidade no Ceará**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2000. 136 p.

AZEREDO, D. F. **Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar em dois solos do estado do Rio de Janeiro: cana-planta.** 1997. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campos, 1997.

AZEVEDO R. *et al.* Avaliação de genótipos de girassol no Nordeste do Estado do Pará. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROENERGIA*, 2008, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2008

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a doses de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba.** 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

AZEVEDO, J. A.; AMABILE, R. F.; SILVA, E. M. **Requerimento de água, produtividade e qualidade de girassol em resposta a regimes de irrigação em solo de cerrado.** Planaltina: EMBRAPA, 1998. 8 p

AZEVEDO, J. H. O.; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 28-33, jan./mar. 2008.

BARNWAL, B. K.; SHARMA, M. P. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 9, n. 4, p. 368-378, 2005.

BATISTA, R. O. *et al.* Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Sci. Technol.**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 213-217, july/dec., 2006.

BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 18-22, 2010.

BELAYGUE, C. *et al.* Contribution of leaf expansion, rates of leaf appearance, and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1240-1246, 1996.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para agricultura.** 2003. 625 f. Monografia (Especialização em Planejamento Estratégico) – Fundação Getúlio Vargas, Brasília, 2003.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br/cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3j1wle6b8.pdf>. Acesso em: 18 set. 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 625 p. 2006.

BISCARO, G. A. *et al.* Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Revista Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1366-1373, set./out., 2008.

BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York: Longman, 1984. 414 p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar: safra 2008: segundo levantamento: agosto 2008**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=85>>. Acesso em: 12 out. 2010.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2005**. Brasília, 2006.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 205-218.

BUENO, R. **Pró-Álcool: rumo ao desastre**. 2. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 1980.

BULFINCH, Thomas. **O livro de ouro da mitologia: a idade da fabula: histórias de deuses e heróis**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2000. 417 p.

CARVALHO, D. B.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio

direto na palha: I - rendimento de grãos e seus componentes, índice de colheita e teor de óleo. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 3, n. 1/2, p. 41-45, 2002.

CARVALHO, L. C. C. **Dinâmica de tubos gotejadores sob aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão e fitoplâncton**. 2009. 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CASAGRANDE, A. A.; Vasconcelos, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 57-78.

CASTIGLIONI, V. B. R. *et al.* **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: EMBRAPA, 1997. 24 p. (Documentos, 58).

CASTIGLIONI, V. B. R.; OLIVEIRA, M. F. Melhoramento do Girassol. In: BÓREM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. Cap. 10, p. 351-384.

CASTILHO, C. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp.)**. 2000. 256 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CASTRO, C. **Boro e estresse hídrico na nutrição e produção do girassol em casa-de-vegetação**. 1999. 120 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

CASTRO, C. *et al.* **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA, 1997. 36 p.

CASTRO, C. *et al.* Doses e métodos de aplicação de nitrogênio em girassol. **Scientia Agrícola**, v. 56. n. 4, p. 827-833, 1999.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITA, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed). **Girassol no Brasil**. [S. l.]: EMBRAPA, 2005. p. 163-218.

CASTRO, F. J. F. de; MENEZES, M. A. S.; SILVA, F. J. A. da; SOUZA, R. O. de. **Volumes de esgotos tratados em lagoas de estabilização para reúso no Ceará**. In:

24° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Saneamento ambiental: compromisso ou discurso?. Rio de Janeiro. ABES, 2007.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2005.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Portaria nº154, de 22 de Julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, 01 out. 2002.

CHAVES, J. B. P. *et al.* Produção, qualidade e mercado de açúcar mascavo, melado e rapadura no Brasil. *In: SILVA, F. C.; CESAR, M. A. A.; SILVA, C. A. B. (Ed.)*. **Pequenas indústrias rurais de cana-de-açúcar**: melado, rapadura e açúcar mascavo. Brasília: EMBRAPA, 2003.

COELHO, M. B.; BARBOSA, M. H. P.; MARCIEL, M. L. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. *In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL*, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 591-598.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. de. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolo, variedades RB 8354 eSP813259. **STAB – Açúca, Alcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p.32-36, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 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 lançamento de efluentes, e de outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 359 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 29 agost. 2006.

COSTA, S. G. D. Irrigação, a dualidade no semiárido nordestino: desenvolvimento econômico x impactos sócio-ambientais. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA*, 2., 2003, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Instituto de Geografia,

2003.

COZAC, M. D.C.; MIRANDA, T. M. A. T. **Contaminação ambiental por vírus e a importância do reúso de efluente doméstico tratado na agricultura.** [s.l.]:

Universidade Católica de Goiás, [s.d]. Disponível em:

<<http://www.google.com.br/search?q=A+CONTAMINA%C3%87%C3%83O+AMBIENTAL+POR+V%C3%84DRUS+E+A+IMPOT%C3%82NCIA+DO&btnG=Pesquisar&hl=pt-BR&source=hp&aq=f&aqi=&aql=&oq=>>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

CRAFTS-BRANDNER, S. J.; PONELEIT, C. G. Selection for seed growth characteristics: effect on leaf senescence in maize. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 127-131, 1992.

DALRI, A. B. *et al.* Irrigação de gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. *In*: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84

DANTAS NETO, J. *et al.*. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DEON, M. D. I. *et al.*. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, out. 2010.

DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto.** 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

DIAS, J. A. A. **Consumo de água do girassol cultivado em evapotranspirômetro de lençol freático constante.** 1995. 50 f. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos.** 4. ed.

Roma: FAO, 1984. 194 p.

ENDRES, P. F. *et al.* Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca – SP Brasil. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, 2006.

FAGUNDES, M. H. Sementes de girassol: alguns comentários. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/cas/especiais/Semente-de-Girassol.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2011

FARIAS NETO, A. L. *et al.* Avaliação de variedades de girassol nos Cerrados do Distrito Federal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 273, n. 47, p. 469-482, 2000.

FARIAS, C. H. A. **Desenvolvimento morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e sequeiro na Zona da Mata paraibana.** Campina Grande: UFCG, 2001. 74 p

FARIAS, C. H. A. *et al.* Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

FEIDEN, A. **Avaliação da eficiência de lagoas de tratamento de resíduos líquidos.** Disponível em: <<http://www.md.utfpr.edu.br/Intranet/professores/adm/download/apostila/172510.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2008.

FERNÁNDEZ, C. J.; MCINNES, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1224-1233, 1996.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Agriannual 2006:** anuário da agricultura brasileira: cana-de-açúcar. São Paulo, 2006. 504 p.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta.** 2008. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GIMINEZ, O. R.; BERENGENA, J. H.; MURIEL, J. L. F. Effect of different rates of water application to a sunflower crop. **Anales der Institute Nacional der Investigacion Agrarria, Produccion Vegetal**, Madrid, v. 5, p. 197-214, 1975.

GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B.; MUNNS, R. Soil water status affects stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 459-464, 1986.

GOMES, D. P. *et al.* Características agronômicas de genótipos de girassol cultivados em São Luís – MA. **Resta Caatinga**, v.20, n. 3, p. 213-216, 2007.

GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. Produção de grãos, óleo e proteína em girassol sob estresse hídrico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 4.; REUNIÃO NACIONAL DA CULTURA DE GIRASSOL, 16., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA, 2005. p. 23-25.

GOMES, E. P. *et al.* Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiuá, estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 373-385, out./dez. 2010.

GOMES, E. P.; TESTEZLAF, R. **Manejo de irrigação na tomaticultura-de-mesa**. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/manejoirrig.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

GONÇALVES, F. M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-deaçúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HOLANDA, A. **Cadernos de altos estudos: biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004. 200 p. (Cadernos de Altos Estudos, 1).

HUTTON, G.; HALLER, L. **Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level**. Geneva: WHO, 2004.

JADOSKI, S. O. *et al.* Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2003.

KITAYMA, O. **Tecnologia e operação de unidades de bioeletricidade a partir de biomassa de cana-de-açúcar – condições operacionais.** In: Cogeração de Energia a Bagaço de Cana no Estado de São Paulo. São Paulo, 2007.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/17.pdf>>. Acesso em: 22 mar 2011.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants.** New York: Academic Press, 1983.

KRIZEK, D. T. **Drenagem superficial para diversificação do uso do solo:** respostas das plantas ao excesso de água. [S.l.: s.n.], 1992.

LEAL, R. M. P. *et al.* Soil exchangeable cations , sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 242-249, 2009.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI A. M.; CASTRO C. **Girassol no Brasil.** Londrina: EMBRAPA, 2005.

LEIVA, E.; BARRANTES, A. Incremento de la producion de caña de azucar com riego por goteo enterrado. **Sugar Y Azucar**, New York, v. 93, n. 8, p. 26-31, 1998.

LIMA, G. A. **Cultura da cana-de-açúcar.** Fortaleza: [s. n.], 1984

LINGLE, S. E.; WEIDENFELD, R. P.; IRVINE, J. E. Sugarcane response to saline irrigation water. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 23, n. 4, p.469-486, 2000.

LOPES, A. S. *et al.* Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Eng. Agríc.**, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

LOPES, A. S. *et al.* Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 51-56, jan./mar. 2011.

LOPES, M. E. P. A. **Avaliação do uso da água em sistemas de irrigação localizada nas culturas do café e do mamão.** 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo,

Vitória, 2006.

LUCAS FILHO, M. *et al.* **Águas residuárias – alternativa de reúso na cultura de girassol (*helianthus annuus*)**. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 2002, Vitória, ES. Anais... Vitória, ES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1779954>>. Acesso em: 27 out. 2010.

MACHADO, E. C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

MANCINO, C. F.; PEPPER, I. L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 4, p. 650-654, 1992.

MANDARINO, J. M. G. **Características bioquímicas e nutricionais do óleo e do farelo de girassol**. Londrina: EMBRAPA, 1992. 25 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**, Ed. UFV, 318p. 2006.

MARTINS, Y. R. C.; LESSA, T. N. U.; PITOMBEIRA, J. B. Competição de genótipos de girassol sob condições de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOENERGIA; SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS, 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de biocombustíveis e bioenergia, 2008. 1 CD- ROM.

MAULE, R. F.; MAZZA, A. J.; MARTHAR JÚNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MAZIERO, J. V. G. *et al.* Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 4, 287-292, out./dez. 2006.

MEHNERT, D. U. Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos. **Biológico**, v. 6, n. 5 p. 19-21. 2003

MENDONÇA, S. R.; **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente**: novos conceitos. João Pessoa: [s. n.], 1990.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2 ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290p.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p.370-374, jun. 2002.

MORAIS, N. B. *et al.* Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 369-377, 2008.

MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. V. **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Rio de Janeiro: AESB, 2009.

MOTA, S. AQUINO, M. D. de. SANTOS, A. B. dos. **Reúso de água em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: UFC, 2007. 350 p.

MOZAMBANI, A.E. *et al.* História e morfologia da cana-de-açúcar. *In*: SEGATO, S. V. *et al.* **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Cadernos Planalsucar, 2006.

NASCIMENTO, L. F. *et al.* Produtividade de colmos em variedades de cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos em argissolo amarelo distrófico. *In*: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10., 2010, Recife. [**Anais...**]. Recife: UFRPE, 2010.

NOBRE, R. G. *et al.* Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

NUNES, E. **O meio ambiente da Grande Natal**. Natal: Imagem, 2000.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, E. L. L. *et al.* Análise da produtividade da cultura do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 24., 2007, Belo Horizonte. [**Anais...**]. Belo Horizonte: UFRJ, 2007. Disponível em: <www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-186.pdf>. Acesso em: 18 set. 2010.

OLIVEIRA, G. Q. *et al.* Irrigação e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno, em sistema de plantio direto, no município de Aquidauana-MS. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p.54-67, 2009.

OLIVEIRA, M. F.; CASTIGLIONI, V. B. R.; CARVALHO, C. G. P. Melhoramento do Girassol. *In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). Girassol no Brasil*. Londrina: EMBRAPA, 2005. cap. 11, p. 269-297.

OLIVEIRA, M. W. *et al.* Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brasil. **Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologist**, Brisbane, p. 40, 2002.

OLIVEIRA, M. W. *et al.* Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-40, 2007

OLIVEIRA, M.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 17-21, 1998.

OLIVÉRIO, J. L. **Brazilian sugar cane sector: evolution, trends, sustainability**. São Paulo: [s. n.], 2008.

OLSNES, S. The history of rucin, abrin and related. **Toxicon**, v. 44, p. 361-370, 2004. Disponível em: <<http://www.elsevier.com.br/locate/toxicon>>. Acesso em: 25 set. 2010.

ORGANIZAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL. **Perfil do fornecedor**. 2006. Disponível em: <<http://www.orplana.com.br>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. *In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed.). Produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: USP, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial**. [S. l.: s. n.], 1994 .

PETROBRAS. **Biocombustíveis**: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado. Disponível em: <
[http://ceragro.iica.int/Documents/Cartilha_Biocombustiveis_Petrobras .pdf](http://ceragro.iica.int/Documents/Cartilha_Biocombustiveis_Petrobras.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2010

PILATT, F. K.; BRENTANO, D. M. Avaliação da toxicidade aguda do efluente de estação de tratamento de esgoto do entorno da ESEC Carijós-SC, em Florianópolis – SC, utilizando um organismo teste *Daphnia magna*. **Revista Brasileira de Educação Profissional e Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 97-105, 2010.

PIMENTA, H. C. D. *et al.* O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas. *In*: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2002, Curitiba. Disponível em:<
[www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/38F13D0429D60A5832574250051CFB9/\\$File/O esgoto-a importância do tratamento e as opções tecnológicas.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/38F13D0429D60A5832574250051CFB9/$File/O%20esgoto-a%20importancia%20do%20tratamento%20e%20as%20opcoes%20tecnologicas.pdf)>. Acesso em:08 set. 2010.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, v. 14. n. 1, p. 65-76, 2005.

PLETSCH, T. A. *et al.* Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. **Revista Irriga**, v. 14, n. 2, p. 243-253, 2009.

PUTT, E. D. Early history of sunflower . *In*: Albert, A. S..**Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. cap. 1. p. 1-19.

RAV-ACHA, C. *et al.* The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. **Water Research**, London, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.

RAVINA I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, v. 13, p. :129-139, 1992.

RAVINA I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v. 33, p. 127-137, 1997.

REGINATO-D'ARCE, M. A. B.; FERRARI, R. A. **Grãos e óleos vegetais: matérias-primas**. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/2444materiasprimas.pdf>>. Acesso em: 15 ago.2005.

REICHARDT, K. O solo como um reservatório de água. *In*: REICHARDT, K. A **água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. p. 27-69.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo, Fundação Cargill, Piracicaba. CENA. 445p.; 1985.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

RESENDE, R. S; COELHO, R. D; PIEDADE, S. M. de S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.368-375, 2000

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil**: proposta de regulamentação do reúso no Brasil. 2005. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROSSI, R. O. **Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1998. 333 p.

SAMENI, A. M. *et al.* Effect of fertilizer-N and herbicides on the growth and N content of sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 285-288, 1976.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, J. H.; CAVALCANTE, F. J. H. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 425-431, 1987.

SANTOS, F. J. S. *et al.* **Manejo da irrigação da melancia: uso do tanque Classe A**. [S. l.]: EMBRAPA, 2004. (Circular técnica, 20).

SANTOS, F. J. S.; LIMA, R. N.; CRISÓSTOMO, L. A. **Irrigação do melão: manejo através do tanque Classe A**. [S. l.]: EMBRAPA, 2001. (Circular técnico, 11)

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Cultivar de girassol Catissol 01**. Disponível em:

<http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_produtos/SementesMudas/cultivares/GIRASSOL-CATISSOL01.pdf>. Acesso em: 20 out. 2010.

SHUVAL, H. I. *et al.* **Wastewater irrigation in developing countries: health effects and technological solutions.** Washington, DC: The World Bank, 1986.

SILVA JUNIOR, L. D. **Estádio de desenvolvimento exigências da cultura da cana-de-açúcar.** Várzea Grande: UNIVAG. Disponível em: <<http://www.univag.com.br/artigos/artigo007.htm>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

SILVA, A. B. *et al.* Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura. **Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 236-241, 2009.

SILVA, A. B. **Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de adubação.** 2002. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

SILVA, A. R. A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curú, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 57-64, 2011.

SILVA, J. G. F.; COELHO, E. F. Irrigação do mamoeiro. *In:* MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. (Ed.). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção.** Vitória, ES: Incaper, 2003.

SILVA, M. A. *et al.* Componentes de produção como indicadores de tolerância à seca em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVA, M. N. **A cultura do girassol.** Jaboticabal: UNESP, 1990. 67 p.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, P. 843-851, 2008.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Época da semeadura em girassol: I: efeitos no

rendimento de grãos, componentes do rendimento, teor de e rendimento de óleo. **Lavoura Arrozeira**, v. 38, n. 361, p. 20-27, 1985.

SILVEIRA, J. M. *et al.* **Semeadura e manejo da cultura do girassol**. In: LEITA, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. [S.l.]: EMBRAPA, 2005. p. 375-409.

SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, D; GIANLUPPI, V., Adubação nitrogenada, espaçamento e épocas de semeadura de girassol nos cerrados de Roraima. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Resultados de pesquisas da EMBRAPA Soja 2001**: girassol e trigo. Londrina: EMBRAPA, 2002. p. 24-29.

SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, D; GIANLUPPI, V., Adubação nitrogenada, espaçamento e épocas de semeadura de girassol nos Cerrados de Roraima. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Resultados de pesquisas da EMBRAPA Soja 2002**: girassol e trigo. Londrina: EMBRAPA, 2003. p. 33-39

SNEL, M. **Re-use of wastewater**: in advantages and disadvantages specifically from an institutional and sócio-cultural perspective. Delft: International Water and Sanitation Centre, 2002. 7 p.

SOUZA, C. R.; SOARES, Â. M.; ALBUQUERQUE, R. M. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesq. agropec. Bras.**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SOUZA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-12, 1999.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M.; SILVA, E. L.. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “Bubbler”. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 264-271, jan./abr. 2005.

SOUZA, W. L. *et al.* Biodiesel de óleo de girassol e etanol. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2005.

SOUZA, Z. M. *et al.* Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum e cigarrinha da raiz em canavial colhido sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 413-419, 2008.

STATE OF CALIFORNIA. **Water reclamation criteria**: an excerpt from the California code of regulations. Sacramento, CA: Department of Health Services, 1978

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

TAVARES, M. L. A. *et al.* **Cinética do biodiesel de girassol e das misturas B5, B10, B15, B20, B25 e B50**. Disponível em: <www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/Armazenamento/CineticaBiodiesel7.pdf>. Acesso em: 22 set. 2010.

TOLMASQUIM; M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Matriz energética brasileira**: uma prospectiva. [S.l.]: CEBRAP, 2007. p. 47-69.

TOUREIORO, C. M.; SERRALHEIRO, R. P.; OLIVEIRA, M. R. Resposta das culturas do girassol e milho a diferentes cenários de rega deficitária. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 30 n. 1, 2007.

TOZE, S. Reuse of effluent water: benefits and risks. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, n. 3, p. 147-159, 2006.

TRUDA, L. **A defesa da produção açucareira**: um ensaio da organização da economia brasileira. Rio de Janeiro: Tipografia do Jornal do Comércio, 1934.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Disponível em: <[http://www.foneagua.org.py/livro %20inundacoes%20urbanos/cap2_1.pdf](http://www.foneagua.org.py/livro%20inundacoes%20urbanos/cap2_1.pdf)>. Acesso em: 6 set. 2010.

UNGARO, M. R. G. Cultura do girassol. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 188, n. 1, p. 1-36, 2000.

UNGER, P. W. *et al.* (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 775-794.

UNGER, P. W. *et al.* Sunflower research in the southern high plains: a progress report. **Proc. Sunflower Forum**, Fargo, n. 1, p. 24-29, 1976

UNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil: resposta às questões mais frequentes.** São Paulo: [s.n.], 2007.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balance energético. **Revista de Política Agrícola**, anos 14, n. 1, p. 42-46, jan./mar. 2005.

VALERA, A. C. G. **Análise do comportamento morfológico da cana-de-açúcar irrigada (variedades SP 791011 e SP 716949), nos tabuleiros costeiros paraibanos.** 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

VAN DER HOEK., W. et al. **Urban wastewater: a valuable resource for agriculture; a casestudy from horoonabad, Pakistan.** Colombo: International Water Management Institute. 2002. 29 p. (Research Report, 63).

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; SILVA, I. J. O. Potencial de uso agrícola de águas residuárias na agricultura com suprimento hídrico e nutricional. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 15, p 79-86, 2004.

WOLFE, D. W.; HENDERSON, D. W.; HSIAO, T.C. *et al.* Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I: leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 859-864, 1988.

WRIGHT, G. C.; SMITH, R. G.; MCWILLIAM, J. R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress: I: crop growth rate and yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 34, p. 615- 626, 1983.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and boll. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 1259-1264, 1990.

XAVIER, M. **The Brazilian sugarcane ethanol experience: issue analysis 3.** Washington: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.cei.org/pdf/5774.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2011

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C. M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1487-1492, 1991

CAPÍTULO 2

Crescimento do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio

RESUMO

Diante das necessidades de se aumentar a produção agrícola de forma sustentável, o uso cada vez maior de água na irrigação bem como as grandes quantidades de fertilizantes químicos nos campos de produção têm sido questionado. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação, bem como sua eficiência na substituição do fertilizante nitrogenado comercial na produção do girassol. O trabalho foi conduzido no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, em Aquiraz, CE. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação; nas subparcelas, foram distribuídas cinco lâminas de irrigação baseadas em percentuais da evaporação do tanque classe A (ECA), que corresponderam à multiplicação da ECA pelos fatores 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 e nas subparcelas, avaliou-se o efeito de quatro doses de adubação nitrogenada 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹. Em todas as variáveis analisadas os valores obtidos para a cultura irrigada com água de reúso foram sempre superiores ao obtido com a água de poço. A altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas aumentou de forma linear em função da lâmina de irrigação. O diâmetro do capítulo aumentou de modo quadrático em função do aumento da lâmina de irrigação e dose nitrogenada. Para a variável diâmetro do capítulo o uso da água de reúso na irrigação pode substituir em até 50 kg de N ha⁻¹ do fertilizante comercial.

Palavras-chave: reúso de água, gotejamento, *helianthus annuus* L.

Development of sunflower irrigated with treated domestic sewage under different irrigation levels and nitrogen doses

ABSTRACT

With increasing needs for agricultural production in a sustainable way, the increasing use of water for irrigation and the large quantities of chemical fertilizers in the production fields has been questioned. Thus this study evaluated the influence of the use of treated domestic sewage in the irrigation and its efficiency with the replacement of commercial fertilizer in the production of sunflower. The work was carried at the Research Center on Wastewater Treatment and Reuse in Aquiraz, CE. The statistical design used was randomized blocks, in split plot with four replications. In the plots was evaluated the effect of two types of irrigation water and the subplots were assigned five irrigation levels based on percentages of evaporation of class "A" PAN, which corresponded to the multiplication of ECA by factors 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25 and in subsubplots, was evaluated the effect of four nitrogen doses 25, 50, 75 and 100 kg ha⁻¹. All these variables the values obtained for reuse water were consistently higher than that obtained with the well water. Plant height, stem diameter and number of leaves increased linearly according to irrigation level. The diameter of the chapter was a quadratic increase with the increase of irrigation level and nitrogen dose. The variable diameter of the chapter the use the reuse water in irrigation can replace up to 50 kg N ha⁻¹ of the commercial fertilizer.

Key words: reuse water, drip irrigation, *helianthus annuus* L.

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) responde por cerca de 13% de todo óleo vegetal produzido. Está entre as cinco maiores culturas oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível no mundo. Oleaginosa que se insere entre as espécies vegetais de maior potencial para a produção de energia renovável no Brasil, como matéria-prima para a produção de biocombustível.

O girassol é uma cultura pouco exigente em água, o que não significa que seu desenvolvimento não será alterado com a deficiência hídrica. A água é fator limitante para produção agrícola, principalmente para região semiárida em que se tem comumente baixas e irregulares precipitações pluviométricas, podendo comprometer significativamente a produção agrícola (SANTOS *et al.*, 2009). Algumas pesquisas comprovam a importância da disponibilidade hídrica no desenvolvimento vegetativo do girassol com as realizadas por SILVA *et al.* (2007) e SILVA *et al.* (2011).

Silva *et al.* (2007) observaram incremento significativo e linear da altura da planta do girassol em função das lâminas de irrigação. Ainda segundo os autores, a altura máxima da planta foi de 1,51 m, obtida com a lâmina de 522,14 mm por ciclo. Já Silva (2009), avaliando as características morfológicas de duas cultivares de girassol Catissol 01 e Embrapa 122 V-2000 sob diferentes lâminas de irrigação (88,95; 177,90; 266,85; 355,80; 444,75; 533,70 mm), não observou diferença estatística para o número de folhas, altura da planta e diâmetro do caule em função da disponibilidade hídrica.

O nitrogênio desempenha importante função no metabolismo e na nutrição da cultura do girassol. Assim, diversas pesquisas têm comprovado a importância da adubação nitrogenada nas características morfológicas do girassol. Carelli *et al.* (1996), Castro *et al.* (1999), Biscaro *et al.* (2008) comprovaram que o aumento da adubação nitrogenada proporciona incremento das variáveis vegetativas e produtivas do girassol. Em comum, estes fatores de produção, água e adubação nitrogenada, além de limitarem a produção agrícola, não há, um consenso a respeito do nível ótimo para se obter o máximo rendimento do girassol, que varia de acordo com a cultivar e das condições ambientais (SILVA, 2009).

Smiderle *et al.* (2003) observaram incremento significativo e quadráticos do diâmetro do caule e altura da planta em função das doses de nitrogênio. Os máximos diâmetros do caule e altura da planta foram de 1,8 cm e 1,68 m, respectivamente, obtidos com 80 kg de N ha⁻¹. Resultados semelhantes foram observados por Biscaro *et al.* (2008), ao

observarem aumento quadrático da altura da planta em função das doses de nitrogênio, sendo a altura máxima da planta de 1,15 m para a quantidade de 72,9 kg ha⁻¹ de N. Ainda segundos os autores, o número de folhas também foi favorecido significativamente e de modo quadrático. Com a adubação nitrogenada, o maior número de folhas foi de aproximadamente 29 folhas obtidas com 80 kg de N ha⁻¹.

A água e o nitrogênio são fatores que podem limitar o desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, diminuir a eficiência da produção. Desta forma, determinar a quantidade correta de água e nitrogênio para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas é fator preponderante para o êxito da agricultura (Barros *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2008). Assim como a falta, os excessos destes fatores de produção podem refletir na depreciação da cultura. Com isso, para se obter a maximização do rendimento agrícola fazem-se necessários trabalhos utilizando a interação dos fatores de produção mencionados acima.

Várias pesquisas vêm certificando-se da interação entre adubação nitrogenada e a disponibilidade hídrica no aumento da eficiência de produção das culturas. Como Silva *et al.* (2008), para a cultura da alface americana e Barros *et al.* (2002) para a cultura do melão. Para Lopes (1989), quando o rendimento de uma cultura aumenta com a adubação, a eficiência do uso da água pela cultura também aumenta. Os autores também verificaram que assim como a falta de água e nitrogênio são prejudiciais, o excesso destes também influencia negativamente o desenvolvimento da cultura.

Diante da escassez de água, seja pela qualidade e/ou quantidade e o consumo excessivo de água pela irrigação, cerca de 70% da demanda, atualmente, vem questionando o uso de águas residuárias para a produção agrícola. Diante da possível aceleração dos processos de eutrofização do bioma aquático diante do lançamento de águas residuárias nas calhas dos rios, a alternativa do reúso de água na agricultura tem ganhado popularidade (HALLIWELL *et al.* 2001, *apud* SANTOS, 2004).

O uso de esgoto doméstico tratado para fins de irrigação permite diminuir o uso de água mais nobre na agricultura, aumentando a oferta para o consumo humano. A redução dos impactos ambientais também é outra realidade do reúso, uma vez que os nutrientes presentes na água de reúso (com o nitrogênio) podem contaminar os aquíferos, provocando o desequilíbrio ambiental. Este problema é minimizado na irrigação das culturas agrícolas, já que as plantas necessitam de grande quantidade de nutrientes e parte destes pode ser utilizada nos nutrientes presentes na água de reúso, funcionando como uma espécie de filtro ecológico. Desta forma, além de minimizar os impactos ambientais, o reúso de água na agricultura pode reduzir os custos com fertilizantes químicos (RAMOS, 2007).

Santos *et al.* (2003), trabalhando com a cultura do girassol sob dois tipos de água de irrigação, água de abastecimento e efluentes tratados, constataram efeito significativo positivo da altura da planta em função do uso da água de reúso na irrigação. Lucas Filho *et al.* (2002), também constataram a superioridade da altura da planta (141,4 cm) e do diâmetro do caule (14,6 mm) do girassol irrigado com esgoto, a altura da planta e diâmetro do caule de 76,7 cm e 8,0 mm, respectivamente, irrigado com água de poço. Souza *et al.* (2010) observaram superioridade estatística de todas as variáveis vegetativas, altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas do girassol irrigado com esgoto de 106,26 cm, 9,41 mm e 19,33 folhas, quando comparado ao obtido com quando irrigado com água de poço de 81 cm, 6,23 e 15,33 folhas, respectivamente.

Santos *et al.* (2010), trabalhando com a cultura do gergelim sob dois tipos de água de irrigação, água de abastecimento e reúso não observaram diferença significativa da altura de inserção do primeiro fruto em função do tipo de água de irrigação.

Embora haja várias vantagens sobre o uso da água de reúso na agricultura, Bastos *et al.* (2003), alertaram da possibilidade da existência de agentes patogênicos no esgoto doméstico tratado, tais como vírus, bactérias, protozoários e helmintos. O que, segundo os autores, sua utilização pode envolver riscos à saúde, seja pelo contato direto com a água residuária ou em decorrência do consumo de alimentos contaminados. Desta forma, a utilização da água de reúso para a produção de culturas destinadas a biocombustíveis e irrigadas por gotejamento minimiza as possíveis contaminações das pessoas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização ambiental da área experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de novembro e fevereiro de 2009/2010, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, da Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE) e Universidade Federal do Ceará (UFC), localizado no município de Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental (imagem obtida pelo google mapas). Aquiraz, Ceará, 2009.

Distante aproximadamente 24,7 km de fortaleza, com acesso através da CE 040, a área experimental encontra-se localizada ao sul da cidade de Aquiraz, com coordenadas 3° 54' 05" de latitude sul e 38 ° 23' 28" longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 14,2 m.

2.2. Clima

O clima da região é razoavelmente homogêneo, segundo a classificação climática de Köppen; AW' corresponde a Tropical chuvoso, com pequenas oscilações relacionadas ao regime pluviométrico. Na região, ocorrem anos de chuvas excessivas e períodos de estiagem prolongada que podem comprometer a agricultura local. A distribuição de 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 precipitação média anual fica acima de 1500 mm. A temperatura média anual varia de 26° a 28°C, com máximas em torno de 36°C. Para determinação da precipitação pluviométrica local, foi instalado um pluviômetro.

2.3 Solo

O solo da área está classificado como Argissolo Acinzentado, textura franca arenosa média e relevo plano (EMBRAPA, 2006). Esse tipo de solo apresenta bom desempenho agrícola, com limitações decorrentes da fertilidade natural e da textura arenosa em superfície.

Para determinação dos atributos físico-hídricos e químicos do solo, antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, obedecendo as orientações prescritas no Manual de recomendações de calagem e adubação para o estado do Ceará da Universidade Federal do Ceará (1993). Para se obter uma amostra representativa, foram coletados sub-amostras com o auxílio de uma boca de lobo percorrendo em zig-zag toda a párea experimental; em seguida, estas foram misturadas e uma amostra representativa foi retirada para cada camada de solo. Encaminhadas ao Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, as análises foram realizadas pelos métodos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). Os atributos físico-hídricos e químicas do solo são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Atributos físico-hídricos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009

Composição físico-hídrico	Camada (m)	
	0 – 0,20	0,20 – 0,40
Composição granulométrica (kg kg ⁻¹)		
Areia grossa	495	603
Areia fina	434	322
Silte	57	56
Argila	14	19
Argila natural	10	16
Classificação textural	Areia	Areia
Densidade (kg dm ⁻³)		
do solo	1,57	1,58
das partículas	2,62	2,62
Umidade do solo (m ³ m ⁻³)		
33 kPa	3,06	3,17
1.500 kPa	1,60	1,48
pH (água)	6,5	6,0
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	0,13	0,12

Tabela 2 - Atributos químicos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009

Atributos Químicos	Camada (m)	
	0 – 0,20	0,20 – 0,40
Complexo Sortivo cmolc kg ⁻¹		
Cálcio	1,4	1,4
Magnésio	1,3	1,4
Sódio	3	6
Potássio mg dm ⁻³	50	87
Hidrogênio + Alumínio	1,32	1,48
Alumínio	0,15	0,15
Soma de bases (S)	58	59
Capacidade de troca de cátions		
Saturação de bases		
Porcentagem de sódio trocável PST	1	1
Carbono (g kg ⁻¹)	5,04	3,72
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	0,5	0,33
Relação C/N	10	11
Matéria orgânica (mg kg ⁻¹)	8,69	6,41
Fósforo assimilável (mg kg ⁻¹)	74	30

2.4 Água para irrigação

O esgoto doméstico tratado foi proveniente de domicílios do município de Aquiraz. Para o tratamento do esgoto foi utilizado o sistema de lagoas de estabilização. Após a chegada do esgoto na estação de tratamento, o mesmo passa por um gradeamento, para retirada de impurezas não biodegradáveis; em seguida, na caixa de areia as partículas mais densas, com os metais, ficam retidos; posteriormente, a Calha Parshall registra a vazão do esgoto; estes processos em conjunto são denominados de tratamento preliminar (Figura 2).

Em seguida, o esgoto segue para o tratamento secundário composto por um conjunto de lagoas em série.



Figura 2 – Ilustração da Estação de Tratamento da CAGECE com detalhes de alguns componentes. (a) Estação de tratamento preliminar, (b) tubulações de chegada de esgoto doméstico, (c) local de limpeza da caixa de areia, (d) Detalhe da caixa de areia, (e) Calha Parshal, (f) água esgoto doméstico bruto, (g) esgoto na lagoa anaeróbia, (h) esgoto tratado em lagoa facultativa. ETE, Aquiraz, CE, 2010

Na primeira lagoa, de menor espelho d'água e profunda, bactérias anaeróbias atuam com a floculação e decantação das partículas sólidas. Na segunda (lagoa facultativa), caracterizada pelo grande espelho d'água e pouco profunda, tem-se a ação de bactérias aeróbias, algas e radiação solar para o tratamento da água. A terceira e quarta lagoas embora tenha dimensões semelhantes às anteriores, são denominadas de lagos de maturação. A água utilizada no experimento foi fornecida pela última lagoa de maturação. As dimensões das lagoas estão expostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, CE

Lagoa	Profundidade (m)	Dimensões do fundo (m)
Anaeróbia	3,00	86,70 x 40,70
Facultativa	1,50	192,70 x 95,50
Maturação	1,50	154,00 x 72,00
Maturação	1,50	153,70 x 71,70

O volume de esgoto doméstico tratado não utilizado no experimento era despejado sobre a calha do rio Pacoti (Figura 3).



Figura 3- Imagem do rio Pacoti e das lagoas anaeróbica, facultativa e maturação da ETE de Aquiraz, CE, 2009.

Amostras da água de poço e do esgoto doméstico tratado foram encaminhadas ao laboratório do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC. As análises das águas estão expostas na Tabela 4.

Tabela 4 –Atributos da água de poço freático e esgoto tratado usados na irrigação do girassol. Aquiraz, CE, 2009

Parâmetro	Tipos de água	
	Água de poço	Esgoto tratado
pH	6,0	7,8
CE (dS/cm)	0,208	0,727
Sódio (mg/L)	19,2	53,7
Cálcio (mg/L)	16,0	45,4
Magnésio (mg/L)	16,2	28,0
Potássio (mg/L)	10,1	26,2
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	15,6	148,1
Cloretos (mg/L)	37,7	92,5
DBO (mgO ₂ /L)	16,6	36,7
DQO não filtrada (mgO ₂ /L)	72,6	111,8
ST (mg/L)	219,3	520,6
SST (mg/L)	6,8	15,2
SDT (mg/L)	214,8	547,5
Amônia (mg/L)	0,0	7,7
Fósforo (mg/L)	0,2	12,8
Coliformes total (NMP/100mL)	2,98E+02	6,53E+02
E. Coli (ovos/L)	2,65E+01	7,73E+01
Ovos de helmintos (UT)	0,0	0,4

2.5 Cultura

A cultura utilizada no experimento foi o girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar Mutissol. Lançada em 2004 pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral- CATI. Aquênio de coloração preta rajado de branco (Figura 4).



Figura 4 – Foto dos aquênios do girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar Mutissol.

2.6 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas (splitsplit-plot) com dois tratamentos na parcela, cinco na subparcela e quatro na subsubparcela, com quatro repetições.

As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AP; esgoto doméstico tratado - E). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe “A” (ECA), e nas subsubparcelas foram testadas cinco doses de adubação nitrogenada.

As lâminas de irrigação corresponderam à: L1, lâmina de irrigação referente a 25% da ECA; L2, lâmina de irrigação referente a 50% da ECA; L3, lâmina de irrigação referente a 75% da ECA; L4, lâmina de irrigação referente a 100% da ECA e L5, lâmina de irrigação referente a 125%.

As doses de nitrogênio corresponderam a: N1, 25 kg de N ha⁻¹; N2, 50 kg de N ha⁻¹; N3, 75 kg de N ha⁻¹ e N4, 100 kg de N ha⁻¹, utilizando com fonte a uréia. Sendo que a aplicação foi realizada com 40% aos 15 dias após a emergência (DAE) e 60% aos 30 DAE.

Cada bloco media 6,00 m de largura por 36,00 de comprimento; em cada um dos mesmos foram distribuídos aleatoriamente as duas parcelas de 6,00 m de largura por 12,00 m de comprimento. As subparcelas eram constituídas de quatro linhas de planta de 6,00 m de comprimento, sendo as duas linhas externas consideradas como bordaduras, de modo a evitar influência entre os tratamentos, e as duas internas com linhas úteis (Figura 5). As subsubparcelas continham aproximadamente 30 plantas distribuídas em quatro linhas de 1,50 m. O espaçamento da cultura foi de 0,20 x 0,90 m.



Figura 5 – Foto da subparcela, detalhes das quatro linhas com mesmo tratamento de lâmina de irrigação e em destaque foto ilustrativa da fita azul simbolizando a mudança de tratamento da dose de nitrogênio.

Na Figura 6 está apresentado o croqui geral da área experimental, indicando o esquema distribuição dos tratamentos no campo.

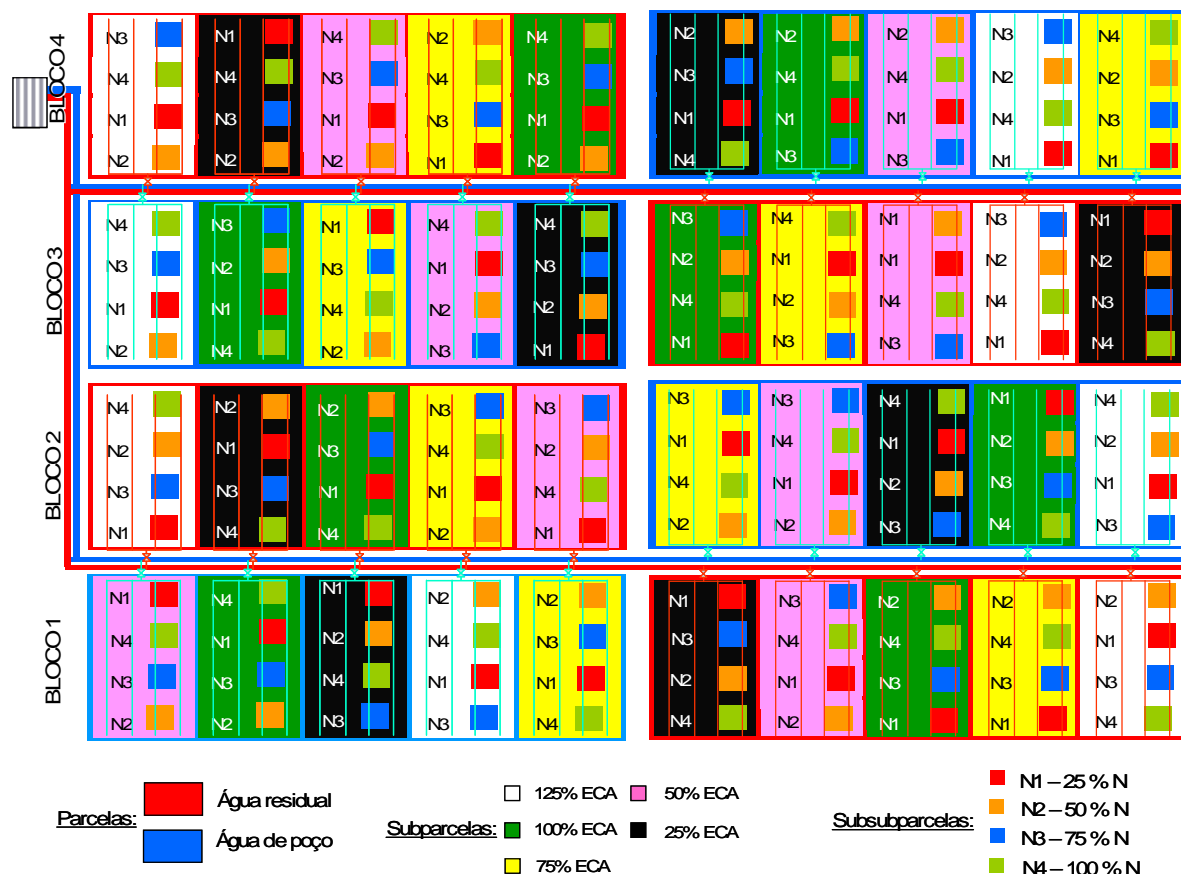


Figura 6 – Croqui da área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2009

2.7 Adubação utilizada

A adubação baseou-se na análise química do solo e exigências nutricionais da cultura. Foram aplicados o equivalente a $60 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, $20 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$, tendo sido usado como fonte dos nutrientes o fosfato de monoamônio (MAP) e o sulfato de potássio, respectivamente. Os fertilizantes foram distribuídos durante a fase vegetativa da cultura. Para suprir possíveis deficiências de micronutriente, foram aplicados $12 \text{ g de FTE-BR 12}$ (9% Zn, 1,8% B, 0,85% Cu, 3% Fe, 2,1% Mn e 0,10% MO) por cova, na fundação, conforme recomendação da Universidade Federal do Ceará (1993).

2.8 Sistema e manejo da irrigação

O método de irrigação adotado foi do tipo localizado, sendo dois sistemas (um para irrigação com esgoto doméstico tratado, o outro para irrigação com água de poço freático) constituídos de: conjunto motobomba de 5 cv; cabeçal de controle, constituído por filtro de disco, tomada de pressão e registros; tubulações, linha principal, linha de derivação, contendo um cavalete com hidrômetro; gotejadores tipo autocompensantes, modelo katif, com vazão de $3,75 \text{ l h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 100 kPa (Figura 7).

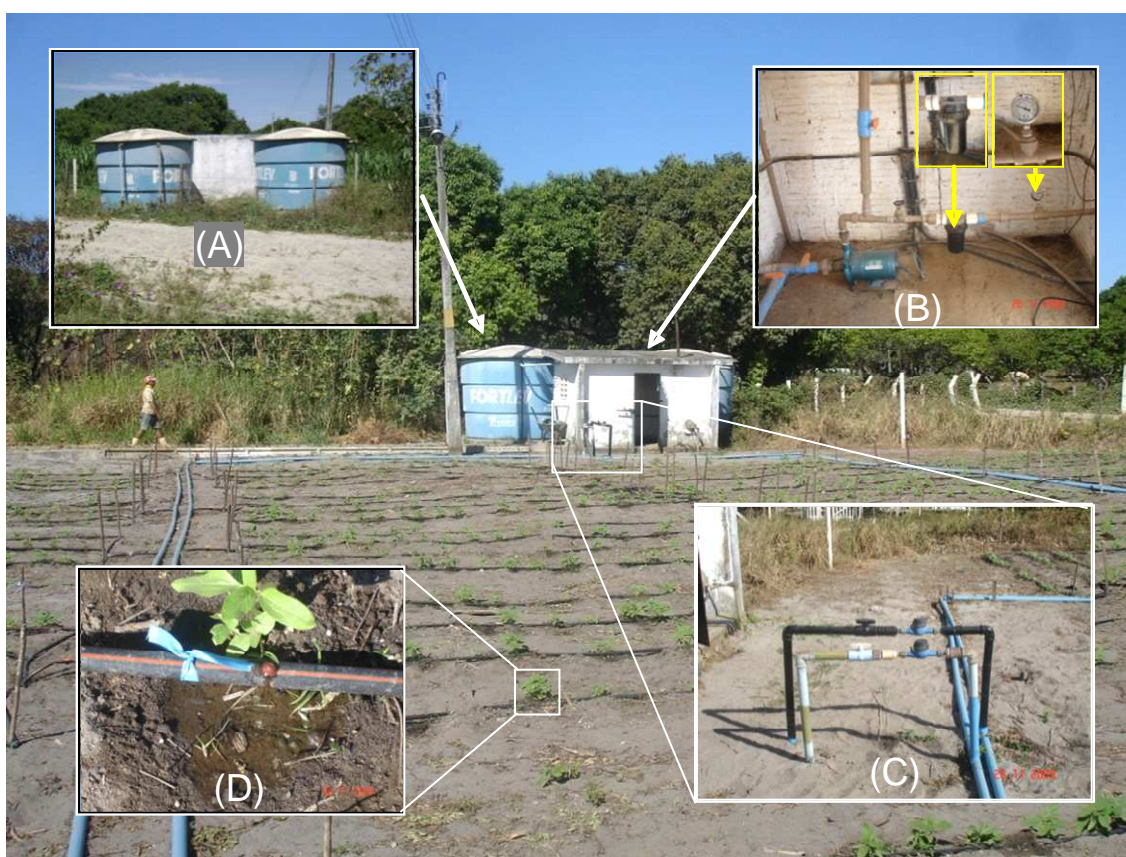


Figura 7 - Detalhes do sistema de irrigação; duas cisternas, uma para cada tipo de água (A); cabeçal de controle (B); cavaletes (C); gotejador (D), ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.9 Instalação e condução da cultura

2.9.1 Preparo da área

A área do experimento foi preparada de forma convencional e constou de aração, gradagem cruzada e aberturas das covas espaçadas 0,20 m entre plantas e 0,90 entre linhas de plantio.

2.9.2 Semeadura e desbaste

A semeadura foi realizada manualmente em 9 de novembro de 2009. Ao 7º dia após a semeadura, foi observado 100% de germinação. No desbaste, realizado manualmente, deixando-se apenas uma planta por cova, de forma a se obter o estande de plantas, a população de plantas almejada no experimento foi de aproximadamente 55555 plantas por hectare.

2.9.3. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi feito por meio do tanque Classe A. Os dados climatológicos (evaporação e precipitação) foram obtidos “in loco”, por meio do tanque classe “A” e pluviômetro instalado próximo da área experimental (Figura 8). Nos primeiros 15 dias após a semeadura, todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação, objetivando estabelecer uma uniformidade no estande. As irrigações foram realizadas com turno de rega de dois dias. O tempo de irrigação era determinado pela lâmina a ser aplicada, correspondente à lâmina equivalente a 100% da ECA. Após o 15º dia após a semeadura, deu-se a diferenciação dos tratamentos.



Figura 8 – Foto ilustrativa do tanque Classe “A” instalado na área experimental utilizado para o manejo da irrigação. ETE, Aquiraz, CE, 2009.

O tempo de irrigação para cada tratamento foi calculado com base nas informações de: evaporação do tanque classe “A” medida no período entre duas irrigações, espaçamentos da cultura, percentagem de área molhada, coeficiente de uniformidade de aplicação, vazão do emissor e fator de aplicação da água e em função dos tratamentos (Equação 1).

$$T_i = \frac{ECA \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot PAM \cdot F_t}{Cud \cdot q_e} \quad (1)$$

em que,

T_i – tempo de irrigação para cada tratamento, em h;

ECA – evaporação do tanque Classe A, em mm;

S_1 e S_2 – espaçamentos da cultura, entre plantas na linha e entre fileiras de plantas em m;

PAM – percentagem de área molhada, em decimal (valor adotado 0,40);

Ft – fator de aplicação da água em função do tratamento, em decimal. Os valores de Ft utilizados foram 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 para os tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente;

Cud – coeficiente de uniformidade de aplicação, em decimal. Valor encontrado na avaliação do sistema (0,90);

qe – vazão média dos emissores, em $L h^{-1}$.

Aos 92 DAS, fez-se a suspensão da irrigação, utilizando-se o critério do estágio de maturação fisiológica dos grãos, ou seja, quando os grãos estavam com massa dura, período em que as plantas se encontravam no estágio fenológico R9 (capítulo inclinado para baixo, com dorso e bráctias com coloração entre amarelo e castanho).

Na Figura 9 estão apresentados graficamente os dados climáticos da precipitação pluvial e lâminas de irrigação mensal no período do experimento. As precipitações foram registradas por pluviômetro instalado próximo a área experimental.

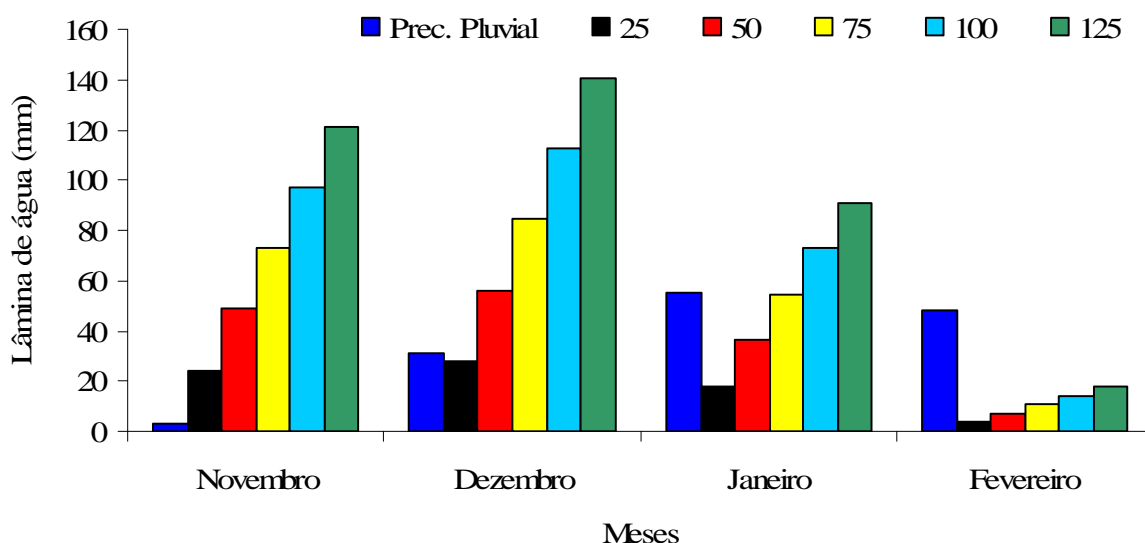


Figura 9 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento, no período de 09/11 de 2009 a 9/02 de 2010 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, Aquiraz, CE, 2010.

2.9.4 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Durante o ciclo da cultura, foram realizadas três capinas com auxílio de enxadas manuais, com o objetivo de eliminar as plantas infestantes e evitar a concorrência das mesmas com a cultura por água e nutrientes.

Durante a implantação e execução do experimento, não foi constatado incidência de pragas, não sendo necessário o uso de qualquer agroquímico para controle de pragas.

2.10 Variáveis analisadas

Durante a execução do experimento, foram coletados dados das variáveis vegetativas, enquadradas na área útil do experimento. As variáveis vegetativas coletadas foram: número de folhas, altura de plantas e diâmetro de caule. No final do ciclo da cultura, 114 DAS, foi verificado o diâmetro do capítulo.

2.10.1 Altura de plantas

Aos 30, 60 e 90 DAS, com o auxílio de uma trena métrica graduada em centímetros, foi mensurada a altura das plantas, sendo considerada como altura da planta a distância vertical do nível do solo até a altura da inserção do capítulo. Foram amostradas dez plantas, inseridas na área útil por subsubparcela. As médias das dez plantas foram expressas em centímetros e representadas como a média das plantas amostradas (Figura 10).



Figura 10 – Foto da medição da altura da planta na área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.10.2 Diâmetro de caule

Com o auxílio de um paquímetro digital, foi mensurado o diâmetro basal do caule, a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo. As coletas foram realizadas aos 30, 60 e 90 DAS, utilizando-se dez plantas por subsubparcela. O diâmetro do caule foi expresso em milímetros (mm), representado pela média das dez plantas (Figura 11).

2.10.3 Número de folhas por planta

Foi avaliado o número de folhas totalmente abertas por plantas emitidas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura, por meio da contagem direta das folhas. Foram utilizadas dez

plantas que se encontravam inseridas na área útil do experimento, por cada subsubparcela, e o valor apresentado representa a média das plantas amostradas.



Figura 11 – Fotos com detalhes da medição do diâmetro do caule com paquímetro digital. ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.10.4 Diâmetro de capítulos

Em laboratório, mensurou-se a distância de uma extremidade à outra do capítulo, com auxílio de uma fita métrica flexível, graduada em centímetros. Foram utilizadas dez plantas, que se encontravam inseridas na área útil, por subsubparcela. O diâmetro do capítulo foi expresso em centímetros (cm), representado pela média das plantas amostradas (Figura 12).



Figura 12 – Foto com foco na medição do diâmetro do capítulo com trena flexível. ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.11 Análise estatística

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparadas usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa, foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se ajustar equações com significados biológicos, sendo selecionados os modelos matemáticos que apresentaram melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação (R^2), utilizando-se para isso o software para análises estatísticas da Universidade Federal de Viçosa (2005) SAEG 9.0 UFV e ASSISTAT 7.6 Beta da Universidade Federal de Capina Grande.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises das variâncias para os dados da altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e diâmetro do capítulo (DC) podem ser observados na Tabela 5. Pelos resultados apresentados, verificou-se efeito significativo entre os tipos de água (AP - Água de poço e E - esgoto doméstico tratado) em todas as variáveis analisadas. Houve efeito significativo do tratamento lâmina de irrigação nas variáveis (AP, DP e DC). Já quanto às doses nitrogenadas, verificou-se efeito significativo apenas para variável DC. Houve interação significativa de A x L, A x N, L x N e A x L x N no DC, revelando a dependência entre estes fatores.

Tabela 5 - Resumo da análise da variância para os dados de altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e diâmetro do capítulo (DCP) do girassol cultivado sob dois tipos de água irrigação (A), cinco lâminas de irrigação (L) e quatro doses de adubação nitrogenada (N). Aquiraz, CE, 2009

Fonte de variação	G. L.	Quadrados Médios			
		AP	DC	NF	DCP
Bloco	3	9509,5 ns	103,54 *	66,69 ns	0,264 ns
Trat. (A)	1	5649,5*	150,02*	404,02 *	81,283**
Resíduo A	3	175,7	6,75	11,93	0,354
Trat. (L)	4	2197,90**	32,16 *	12,80 ns	18,773**
Int. A x L	4	282,20 ns	9,17 ns	25,28 ns	7,782**
Resíduo L	24	337,94	8,23	11,32	0,227
Trat. (N)	3	225,244 ns	6,97 ns	6,22 ns	9,451**
Int. A x N	3	151,257 ns	10,25 ns	1,04 ns	0,533
Int. L x N	12	56,479 ns	2,46 ns	8,05 ns	2,112**
Int. A x L x N	12	66,533 ns	1,27 *	6,71 ns	1,367**
Resíduo N	90	189,909	4,84	8,34	0,321

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; N – Níveis de nitrogênio; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

3.1 Altura da planta

As maiores médias da altura de planta (112,41 cm) foram obtidas quando se irrigou com água de reúso, quando comparadas às médias alcançadas com água de poço (100,52 cm) (Tabela 6). Corroborando com o trabalho de Sales (2008), que, trabalhando com a mamoneira sob dois tipos de água para irrigação (água de poço e esgoto doméstico tratado), também constataram efeito significativo da altura em função tipo de água. Esta diferença pode

estar atribuída aos nutrientes (macro e micronutrientes) dissolvidos na água de reúso, contudo, não se pode atribuir relação deste incremento com o nitrogênio dissolvido, já que, não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) desta variável com o aumento das doses de nitrogênio.

Tabela 6 - Altura média das plantas em função dos tipos de água de irrigação

Tipo de água	Altura da planta (cm)
Água de poço	100,52 b
Esgoto	112,41 a

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

A ausência de efeitos significativos das doses nitrogenadas para a variável altura de planta, corrobora com os resultados obtidos por Bruginiski; Pissaia (2002), que cultivaram o girassol sob crescentes doses nitrogenadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 Kg ha⁻¹) e também não observaram diferença estatística para a variável, contrapondo o que foi constatado por Biscaro *et al.* (2008), que também avaliaram a altura das plantas do girassol nas doses de 0, 20, 40 e 80 Kg de N ha⁻¹ e observaram diferenças significativas na altura de plantas em função das doses de nitrogênio.

O incremento significativo da altura das plantas em função do aumento da lâmina de irrigação corrobora com Silva *et al.* (2007), que também avaliando o girassol sob diferentes níveis de irrigação (testemunha; 117,20; 350,84; 428,70 e 522,14 mm) observaram efeito significativo do aumento da disponibilidade hídrica sobre a altura da planta, sendo 522,14 mm a lâmina que proporcionou maior altura 1,51 m.

O aumento na altura da planta com o favorecimento hídrico foi semelhante para o tipo de água, sendo o modelo linear o que mais se ajustou aos dados, com efeito significativo ($p < 0,05$) e coeficientes de determinação de (0,8291) e (0,7024) para água de poço e esgoto, respectivamente (Figura 1). Este aumento linear, também foi observado por Silva *et al.* (2007), e deu-se provavelmente, na tentativa da cultura em atingir sua altura potencial, já que nestes trabalhos, o porte da planta ficou abaixo do sugerido pela literatura.

Foram observados incrementos na altura do girassol de 17 e 23%, entre o limite mínimo (L1 = 74,16 mm) e máximo (L5 = 370,80 mm) da lâmina de irrigação fornecida, para água de poço e esgoto respectivamente. Incremento próximo ao observado por Silva *et al.* (2007), de 18,75%, quando comparado às alturas médias das plantas obtidas entre os tratamentos L3 (522,14 mm) e L0 (117,20 mm).

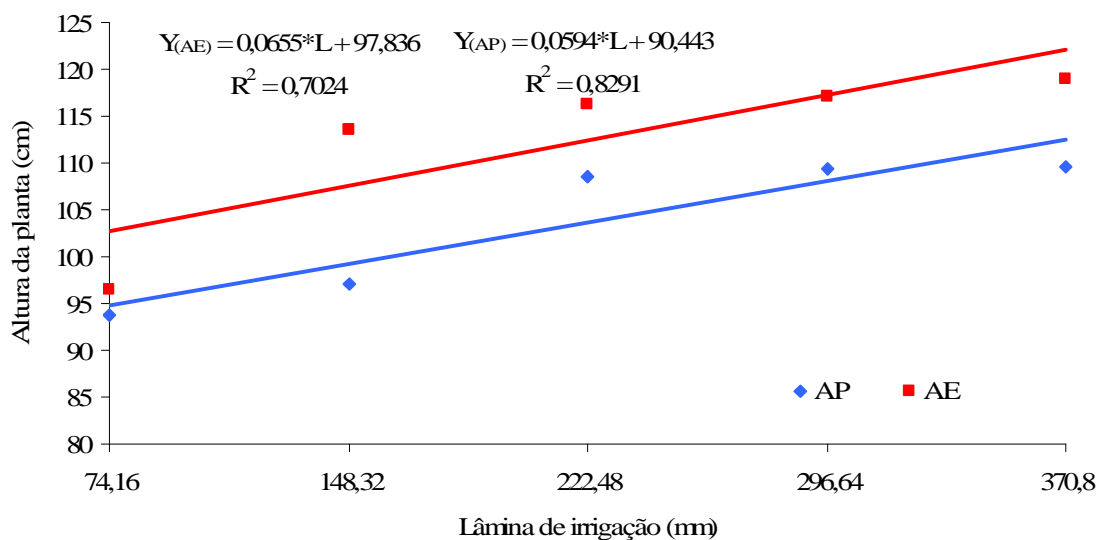


Figura 13 - Altura da planta do girassol, irrigada sob diferentes fontes hídricas, água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (E) em função de diferentes lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2009.

3.2 Diâmetro do caule

Os diâmetros médios obtidos foram de 13,30 mm e 15,23 mm para água de poço e esgoto, respectivamente (Tabela 7). Assim como para a variável altura da planta, também foi registrada a superioridade do diâmetro do caule quando irrigado com água de reúso, quando comparado ao diâmetro do caule obtido com água de poço. Diferença que, assim como para altura da planta, pode estar associada aos nutrientes presentes no esgoto. Contudo, não se pode inferir ligação ao nitrogênio presente na água de reúso, já que não foi observado efeito significativo do tratamento doses de nitrogênio para esta variável. Desta forma, acredita-se que outros nutrientes dissolvidos no esgoto tratado, como o boro, podem ter contribuído com o melhor desempenho do diâmetro do caule, embora Sales (2008) não observou diferença significativa do diâmetro do caule da mamoneira em função das doses de micronutrientes, zinco e boro.

Tabela 7 - Diâmetro médio do caule do girassol em função dos tipos de água de irrigação.

Aquiráz, CE, 2009

Tipo de água	Diâmetro da planta (mm)
Água de poço	13,30 b
Esgoto	15,23 a

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

O diâmetro do caule pouco se alterou com a disponibilidade hídrica do solo. Pois, embora as lâminas de irrigação tenham influenciado no diâmetro do caule, apenas entre os tratamentos L1 e L5, foi observado diferença significativa ($p < 0,05$). Silva (2005), também trabalhando com o girassol, atribuiu ao não efeito da disponibilidade hídrica sobre o diâmetro do caule, devido à sua própria estrutura, que se apresenta oca, funcionando como verdadeiros drenos de água e nutrientes para as folhas e os capítulos.

Os dados de diâmetro do caule aumentaram de forma linear em função da disponibilidade com efeito significativo ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação de (0,8589) e (0,8059) para água de poço e esgoto, respectivamente (Figura 2). O incremento no diâmetro do caule foi de aproximadamente 22% e 19% para água de poço e esgoto, respectivamente.

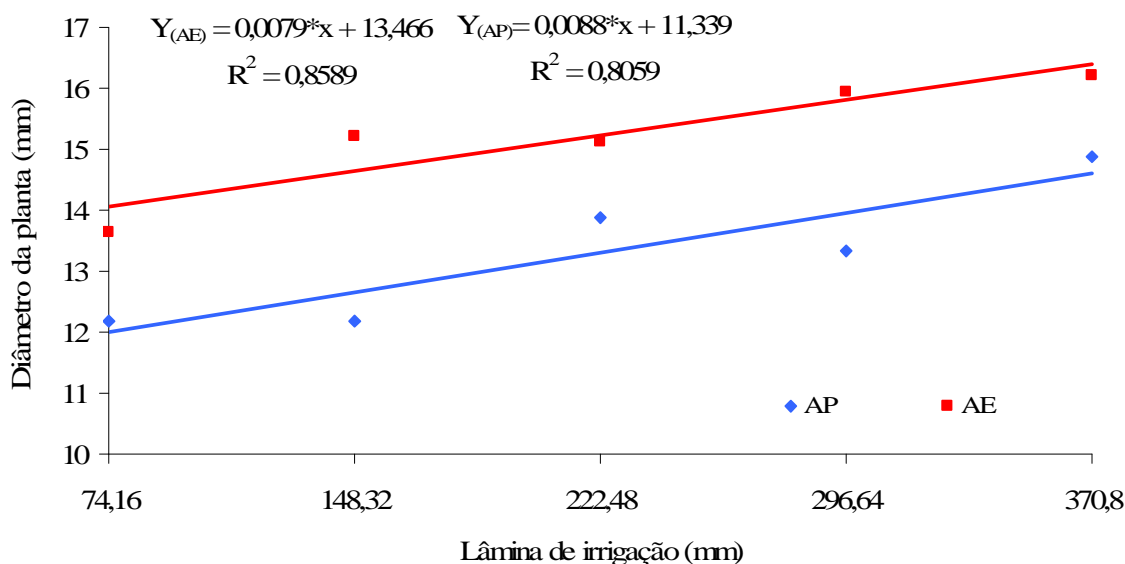


Figura 14 - Diâmetro da planta do girassol, irrigada sob diferentes fontes hídricas, água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (E) em função de diferentes lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2009.

Tais resultados contrapõem os obtidos por Biscarro *et al.* (2008), que, também avaliando o girassol, cultivar H 358 da Dekalb, sob quatro doses nitrogenadas (0, 20, 40 e 80 kg ha⁻¹), observaram efeito significativo das doses nitrogenadas sobre o diâmetro do caule. Ainda segundo os autores, o diâmetro máximo, 18,4 mm, foi obtido com 47,8 kg de N ha⁻¹, sendo este superior ao máximo observado no presente trabalho, de 14,13 e 15,46 mm para água de poço e esgoto, respectivamente. Esta diferença pode estar associada às particularidades genéticas fenotípicas inerentes à cultivar, já que no presente trabalho utilizou-se a Multissol. Reforçando esta inferência, Smiderle *et al.* (2005), avaliando cultivares de girassol na savana de Roraima, observaram diferença significativa entre os diâmetros dos caules das cultivares.

3.3 Número de folhas

As maiores médias de número de folhas por planta, aproximadamente 25, foram obtidas com o uso de esgoto na irrigação, diferenciando-se estatisticamente de 22 folhas por plantas, obtidas com água de poço na irrigação (Tabela 8).

Tabela 8 - Número de folhas por planta do girassol em função dos tipos de água de irrigação.

Aquiraz, CE, 2009

Tipo de água	Número de folhas
Água de poço	22,13 b
Esgoto	25,31 a

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

O efeito não significativo do número de folhas em função das doses de nitrogênio revela que, assim como o nitrogênio, outros nutrientes presentes na água de reúso podem ter atuado para o melhor resultado do número de folhas.

Os números médios de folhas por planta, obtidos quando se irrigou com água de poço, condizem com os observados por Afféri *et al.* (2008) de 22 para Multissol, em Tocantins. Revelando que os bons resultados obtidos com a água de reúso podem não estar relacionados com uma eventual deficiência nutricional do girassol irrigado com água de poço, mas provavelmente pela qualidade intrínseca da água de reúso. Como relatado por Guidolin

(2000), é imprescindível destacar o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes urbanos brutos, destacando a presença de macronutrientes (N, P, K) e micronutrientes (As, Cd, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn).

O efeito não significativo ($p < 0,05$) do número de folhas por planta em função das doses nitrogenadas, observado no presente trabalho, diverge de Biscaro *et al.* (2008), ao registrarem efeito significativo de doses de nitrogênio no número de folhas por planta.

Assim como as doses de nitrogênio, as lâminas de irrigação não influenciaram significativamente no número de folhas por planta. Desta forma, já que não foi constatada redução do número de folhas com a redução da disponibilidade hídrica, acredita-se que, provavelmente, pode ter ocorrido redução da área foliar como defesa da planta para tolerar o déficit hídrico. Pois, segundo Taiz; Zeiger (2009), o estresse hídrico na cultura do girassol afeta a fotossíntese e a expansão foliar, refletido pelas reduções da área foliar. A expansão foliar é muito sensível à deficiência hídrica, sendo inibida sob níveis moderados de estresse hídricos, o que afeta severamente as taxas fotossintéticas e, em consequência, a produção de fitomassa da parte aérea (NOBRE *et al.*, 2010).

Outra provável justificativa para a ausência de influência das diferentes lâminas de irrigação sobre o número de folhas deve-se ao número de folhas, na cultura do girassol, ser definido muito cedo, entre 10 a 20 dias após a emergência, no período de diferenciação foliar (MERRIEN, 1992). Desta forma, como até os primeiros dez dias após emergência todos os tratamentos receberam as mesmas lâminas, 100% da ECA, a fim de uniformizar o estande, quando foram iniciados os tratamentos, provavelmente, o número de folhas já havia sido previamente definido.

3.4 Diâmetro do capítulo

A maior média de diâmetro do capítulo (DC), 16,05 cm, foi obtida com uso de água de reúso, quando comparado ao diâmetro médio de 14,62 cm obtido com a água de poço, diferenciando-se estatisticamente ($P < 0,01$) (Tabela 9). Para Florencio *et al.* (2006), os processos de tratamento de esgoto são pouco eficientes na remoção de nutrientes. O que pode ter influenciado no maior diâmetro do capítulo, obtido com água de reúso.

Tabela 9 - Médias de diâmetro do capítulo (DC) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e Níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2009

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Médias	
		N1 25	N2 50	N3 75	N4 100		
		Diâmetro do capítulo (cm)					
Água de poço	L1	74,16	13,14	14,36	14,61	14,28	14,10 c
	L2	148,32	15,03	14,35	15,19	14,43	14,75 b
	L3	222,48	15,37	15,52	17,57	15,31	15,94 a
	L4	296,64	13,34	14,61	15,15	15,65	14,69 b
	L5	370,80	13,21	13,12	14,36	14,00	13,67 c
		Médias	14,02 C	14,39 BC	15,38 A	14,73 B	14,62 b
Esgoto	L1	74,16	14,68	14,83	14,51	14,85	14,72 d
	L2	148,32	15,77	15,37	15,27	15,50	15,48 c
	L3	222,48	15,84	16,21	17,88	16,94	16,72 ab
	L4	296,64	17,34	15,83	17,48	17,78	17,11 a
	L5	370,80	15,12	16,31	17,72	15,88	16,26 b
		Médias	15,75 B	15,71 B	16,57 A	16,19 AB	16,05 a

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas e minúscula em negrito na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os diâmetros médios do capítulo de 14,62 e 16,05 cm, obtidos no presente trabalho para água de poço e esgoto, respectivamente, foram inferiores aos observados por Silva *et al.* (2011), de 18,06 cm para a Catissol. Esta diferença deve-se, provavelmente à variável genética, já que no mesmo trabalho o autor observou diâmetro médio de 16,88 cm para a cultivar Embrapa – V2000, denotando diferenças significativas entre as cultivares. O que é condizente com as inferências de Castro; Farias (2005), ao discorrerem que as variações no diâmetro do capítulo são consequências das características intrínsecas a cada genótipo, que por sua vez são grandemente influenciadas pelas condições ambientais e pelo manejo cultural adotado no girassol.

Avaliando o desempenho do diâmetro do capítulo em função da disponibilidade hídrica, a maior média de DC para água de poço foi de 15,94 cm, obtido com o tratamento L3 (222,48 mm), diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos. Já para o esgoto tratado, as maiores médias do diâmetro do capítulo (17,11 cm) foram obtidas com L4 (296,64 mm) não diferenciando estatisticamente ($p < 0,05$) do obtido com o tratamento L3 (222,48) de 16,72 cm (Tabela 5). Valores similares aos observados por Silva *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2011) de 16,081 cm e 17,35 cm, com as lâminas de 117,20 e 177,90 mm, respectivamente.

Embora Silva *et al.* (2011) tenham observado incrementos do diâmetro do capítulo com aumento da disponibilidade hídrica, até a lâmina de 355,80 mm, o autor não observou diferença estatística entre os diâmetros dos capítulos entre as lâminas 88,95 mm e 533,70 mm. O mesmo foi observado por Silva *et al.* (2007). Norteando que, apenas a variação

de um dos fatores de produção, como a água, pode não ser suficiente para se obter uma variação expressiva na planta, já que outros fatores, como nutrientes, sanidade e clima estão em equilíbrio.

No presente trabalho, o incremento médio do diâmetro do capítulo com o aumento da disponibilidade hídrica entre a maior e a menor lâmina de irrigação disponibilizada para a cultura foi de 13% para água de poço, próximo ao observado por Silva *et al.* (2007), de 10%. Já para o esgoto, o incremento mensurado também entre as lâminas extremas foi de aproximadamente 16%. O maior incremento do DC, registrado para água de reúso pode reforçar a hipótese de que a disponibilidade de nutrientes presentes na água de reúso favorece um melhor desenvolvimento da cultura do girassol.

Quanto à variação das doses de nitrogênio, as maiores médias de DC foram de 15,38 cm e 16,57 cm com o N3 (75 kg de N ha⁻¹) para água de poço e esgoto, respectivamente (Tabela 5). Os valores médios de diâmetro do capítulo, mesmo no tratamento submetido à menor dose de adubo nitrogenado (N1 = 25 kg ha⁻¹) para os dois tipos de água, foram superiores aos obtidos por Biscarro *et al.* (2008), quando, trabalhando com diferentes níveis de nitrogênio com girassol irrigado por gotejamento, obtiveram diâmetros médios máximos de 11,9 cm com 44,9 kg N ha⁻¹, sendo registrado decréscimo a partir de então.

As médias de diâmetro dos capítulos obtidos para água de reúso em função das doses de nitrogênio foram sempre superiores aos diâmetros de capítulo obtidos para água de poço. Considerando os valores próximos do DC de 15,38 cm e 15,75 cm obtidos com os tratamentos N3 = 75 kg de N ha⁻¹ e N1 = 25 de N ha⁻¹, irrigados com água de poço e reúso, respectivamente, pode-se constatar que provavelmente o nitrogênio presente na água de reúso substituiu em 50 de N ha⁻¹ o nitrogênio químico (Tabela 9). Esta diferença pode estar associada ao nitrogênio presente na água de reúso, fornecido toda vez que foi realizado irrigação. Segundo Zagonel; Mundstock (1991), o nitrogênio atua na fase crítica da diferenciação floral que refletira conseqüentemente no número de aquênios por capítulo e, por decorrência, afeta também o diâmetro do capítulo.

Segundo Qadir; Oster (2004), a salinização ou a sodificação do solo pelo uso do esgoto doméstico na irrigação normalmente não acontece, já que no geral estas condutividades elétricas são menores que 1 dS m⁻¹, além disso, as próprias precipitações pluviométricas, em solos bem drenados, proporcionariam a diluição e lixiviação do sódio acumulado no solo pelo uso de água de reúso. Desta forma, o uso de culturas toleráveis à salinidade da água de reúso pode ser um parâmetro para o uso racional do esgoto doméstico na agricultura.

A partir da análise de regressão dos dados de diâmetro do capítulo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, verificou-se que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi o modelo polinomial quadrático com efeito significativo ($P < 0,01$) para o DC do girassol irrigado com água de poço e esgoto, respectivamente (Tabela 10).

Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para diâmetro do capítulo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiraz, CE, 2009

Tipo de água	Nome	Coeficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
<u>Modelo</u>						
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ$						
Água de poço	Constante	10,6306				
	LAM	0,032715	0,008175	4,001698	0,0007	0,69
	LAM ²	- 0,0000782	0,0000165	- 4,72405	0,0002	
	NIT	0,04198	0,033019	1,271566	0,1121	
	NIT ²	- 0,000299	0,000244	-1,228200	0,1198	
	LAM*NIT	0,0000212	0,0000519	0,407423	0,3449	
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ + g*XZ^2$						
Esgoto	Constante	14,4316				
	LAM	0,0172779	0,0118695	1,45565	0,0846	0,69
	LAM ²	- 0,00005279	0,00001796	- 2,93877	0,0058	
	NIT	-0,0663634	0,07876	- 0,84259	0,2073	
	NIT ²	0,00049648	0,0006202	0,80046	0,2189	
	LAM*NIT	0,0004144	0,000320221	1,29415	0,1091	
	LAM*NIT ²	- 0,00000285	0,000002522	- 1,12901	0,1396	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

Na Figura 3A, está representada a superfície de resposta do diâmetro do capítulo, para água de poço, em função dos fatores de produção lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Observam-se incrementos do diâmetro do capítulo em função do aumento dos fatores. De acordo com o modelo matemático selecionado, o diâmetro máximo do capítulo (ponto de máxima), seria de 15,9 cm, obtido com os tratamentos L3 (222,48 mm) e N3 (75 kg ha⁻¹ de N), sendo este, o recomendado para as condições em que foi conduzido o presente trabalho.

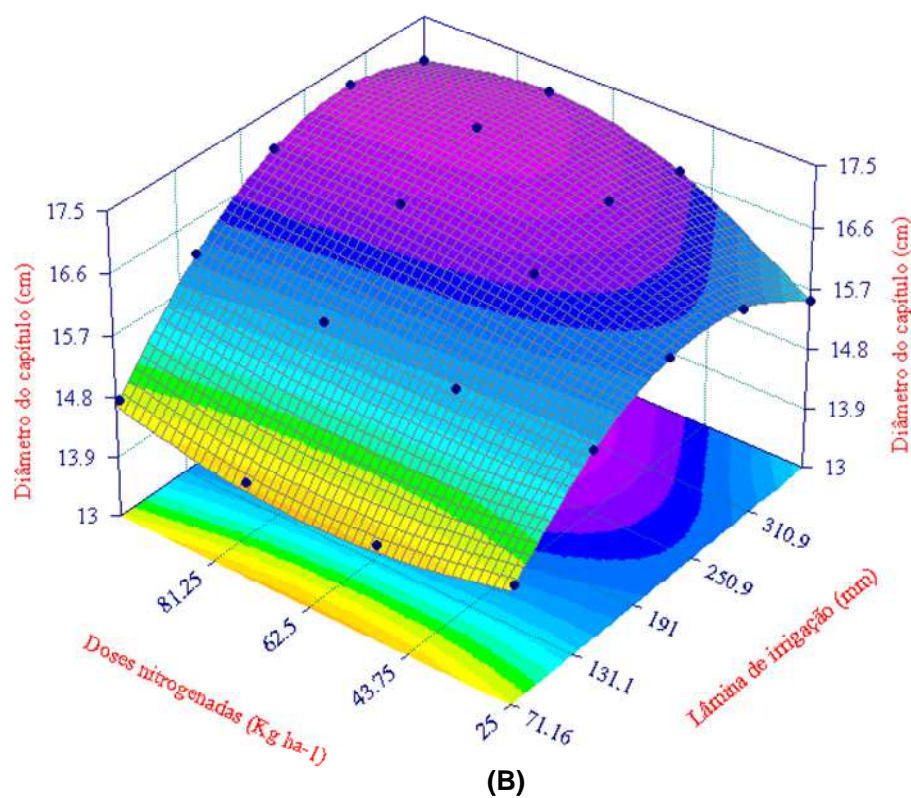
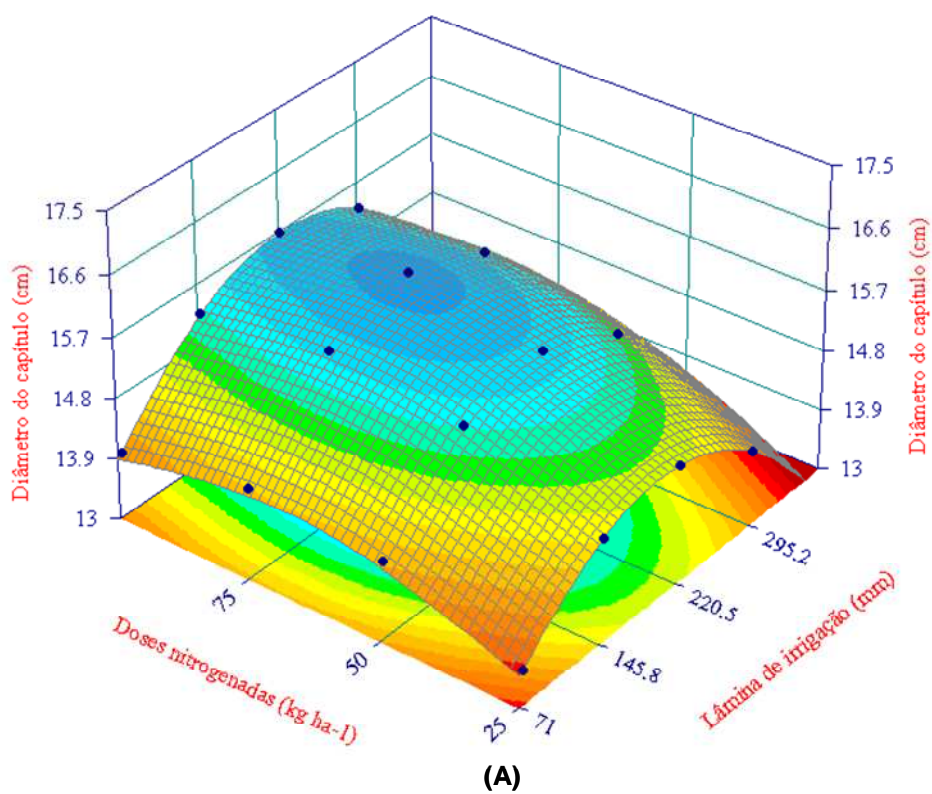


Figura 15 - Superfície de resposta do diâmetro do capítulo do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2009.

Para Souza *et al.* (2010), a variável diâmetro do capítulo é um dos componentes de produção mais sensíveis à presença de nitrogênio, respondendo significativamente, com incrementos desta variável diante de doses pequenas, denotando que a adubação nitrogenada é de extrema importância para o girassol. Entretanto, segundo Biscaro *et al.* (2008), para proporcionar bom crescimento do diâmetro do capítulo não é necessária uma alta quantidade de fertilizante nitrogenado, o que pode justificar a constatação de um ponto de máxima para as doses nitrogenadas, independente do tipo de água utilizado na irrigação.

Em diversos trabalhos avaliando o desempenho das culturas em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, têm sido observados efeitos quadráticos, com o alcance de pontos de máximo, nas variáveis avaliadas em função do aumento dos fatores de produção lâmina e nitrogênio. Mousinho *et al.* (2003), avaliando o desempenho da melancia sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, observaram efeito quadrático da produção em função dos fatores de produção. O mesmo foi constatado por Silva *et al.* (2008) para a cultura da alface em função as lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

Biscaro *et al.* (2008) também observaram efeito quadrático do diâmetro do capítulo do girassol em função do aumento da doses de nitrogênio, obtendo diâmetro máximo estimado de 11,9 cm com a dose de 44,9 kg de N ha⁻¹, registrando a partir de então decréscimo do diâmetro do capítulo com aumento da dose de nitrogênio. A diferença entre os diâmetros máximos estimados em função da dose de nitrogênio ótima obtida no presente trabalho, quando comparado ao obtido por Biscaro *et al.* (2008), pode estar relacionada ao favorecimento hídrico. Denotando a complementaridade destes fatores de produção para a produção do girassol.

Para água de reúso também foi observado incremento da variável DC com aumento dos fatores de produção, aos quais a cultura foi submetida (Figura 3B). De acordo com o modelo matemático escolhido, o máximo diâmetro do capítulo, de 17,27 cm (ponto de máxima) seria obtido com a mesma dose de nitrogênio N3 (75 kg ha⁻¹); já quanto à disponibilidade hídrica, o diâmetro aumentou até lâmina L4 (296,64 mm), decrescendo a partir de então.

Divergindo do modelo matemático (quadrático) obtido para o presente trabalho selecionado para explicar o comportamento do diâmetro do capítulo em face de crescentes doses de adubo nitrogenado, Nobre *et al.* (2010), avaliando o desempenho do girassol, em casa de vegetação, sob lâminas de irrigação, observaram incremento linear do diâmetro do capítulo com aumento da disponibilidade hídrica (40, 60, 80, 100 e 120% do balanço hídrico).

O diâmetro máximo do capítulo obtido no presente trabalho, de 17,27 cm, foi inferior ao obtido por Nobre *et al.* (2010) obtido com o tratamento equivalente a 60% da necessidade hídrica 19,99 cm, aproximadamente. Esta diferença pode estar atribuída às condições controladas dentro da casa de vegetação nas quais a pesquisa foi executada.

Os maiores diâmetros do capítulo foram estimados para água de reúso. Observando as Figuras 3A e 3B, fixando as doses de nitrogênio em 25 kg ha⁻¹ (menor dose de nitrogênio) e variando o nível de irrigação, pode-se observar melhores desempenhos do girassol irrigado com água de reúso, que se deve, provavelmente, ao favorecimento do nitrogênio presente no esgoto, resultando em diâmetro de capítulo sempre maiores quando comparados ao obtido com a água de poço nas mesmas lâminas de irrigação.

Um dos questionamentos em torno do uso da água de reúso na irrigação, diz respeito à condutividade elétrica, pH e a sodicidade da água, que quando presentes em concentrações elevadas, podem refletir no baixo desempenho da cultura. Como constatado por Nobre *et al.* (2010), o diâmetro do capítulo é a variável que melhor expressa os efeitos da salinidade da água sobre o girassol. Desta forma, a partir dos bons resultados obtidos para diâmetro dos capítulos, para o girassol irrigado com água de reúso, pode-se inferir que, o esgoto doméstico tratado pode ser utilizado para irrigação da cultura do girassol.

4 CONCLUSÕES

De acordo com as condições em que foi realizado o presente trabalho, (precipitação pluviométrica de 137 mm), para as variáveis, altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas recomenda-se a lâmina de irrigação referente a 125% da ECA (370,8 mm) bem distribuídos ao longo do ciclo da cultura, independente do tipo de água. Já para a variável diâmetro do capítulo recomenda-se a lâmina referente a 75% da ECA (222,48 mm), independente do tipo de água para irrigação.

Os maiores diâmetros dos capítulos foram alcançados com a lâmina de irrigação referente a 75% da ECA (222,48 mm) e adubação nitrogenada de 75 kg ha⁻¹, tanto para a irrigação com água de poço quanto para esgoto doméstico tratado.

O esgoto doméstico tratado pode ser utilizado para o cultivo do girassol. Os maiores valores estimados para as variáveis; altura de planta (118,9 cm) e diâmetro do caule da planta (16,21 cm) foram obtidos com uso do esgoto doméstico tratado para irrigação e com lâmina de irrigação referente a 125% da ECA. Já para a variável diâmetro do capítulo o máximo de 17,27 cm foi estimado também para a cultura irrigada com água de reúso porém sob lâmina de irrigação referente a 100% da ECA.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFÉRRI, F. S. *et al.* Avaliação de cultivares de girassol, em diferentes épocas de semeadura, no sul do estado do Tocantins, safra 2005/2006. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 4, p. 79-87, jul./dez. 2008.

BARROS V. S.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. Função de produção da cultura do melão para níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu - CE. **Irriga, Botucatu**, v. 7, n. 2, p. 98-105, 2002.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; KELLER. **Organismos patogênicos e efeitos na saúde humana. In: Desinfecção de efluentes sanitários.** PROSAB 3. Rio de Janeiro-RJ.: ABES. p.27-88, 2003.

BISCARO, G. A. *et al.* Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Revista Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1366-1373, set./out., 2008.

BRUGINSKI, D. H.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: II: morfologia da planta e partição de massa seca. **Scientia Agraria**, v. 3, p. 47-53, 2002

CARELLI; M. L. C. *et al.* Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 8, p. 123-130, 1996.

CASTRO, C. *et al.* Doses e métodos de aplicação de nitrogênio em girassol. **Scientia Agrícola**, v. 56. n. 4, p. 827-833, 1999.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. *In:* LEITA, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed). **Girassol no Brasil**. [S. l.]: EMBRAPA, 2005. p. 163-218.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio e Janeiro: Atual, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FLORENCIO, L. *et al.* **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GUIDOLIN, J. C. **Reúso de efluentes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA: POTAFOS, 1989

LUCAS FILHO, M. *et al.* **Águas residuárias – alternativa de reúso na cultura de girassol (*helianthus annuus*)**. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 2002, Vitória, ES. Anais... Vitória, ES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

MERRIEN, A. **Physiologie du Tournesol**. Paris: CETION, 1992. 66 p.

MOUSINHO, F. E. P. *et al.* Função de resposta da melancia à aplicação de água e nitrogênio para as condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 264-272, 2003.

NOBRE, R. G. *et al.* Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

QADIR, M.; OSTER, J. D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils waters aimed at environmentally sustainable agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 323, p. 1-19, 2004.

RAMOS, J. M. O. Uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 6, n. 10, p. 1-20, 2007.

SALES, F. M. G. **Resposta da mamona irrigada com esgoto sanitário tratado e poço freático as aplicações de zinco e boro em condições de baixa altitude**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, 2008.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades físicas e químicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim – TIFTON 85**. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SANTOS, C. G. F. et al. **Efeito do uso de lodo e água residuária tratada sobre a cultura do girassol**. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, SC, 2003.

SANTOS, M. J. *et al.* Seca, precipitação e captação de água de chuva no semiárido de Sergipe. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, p. 55-73, 2009.

SANTOS, M. S. *et al.* Produção de gergelim sob irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, p. 31-35, 2010.

SILVA, A. R. A. da. **Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curú, CE**. 2009. 116 f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SILVA, A. R. A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 57-64, 2011.

SILVA, M. L. O. **Aplicações de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. Lavras : UFLA, 2005.

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVA, P. A. M. *et al.* Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.

SMIDERLE, O. J. *et al.* **Adubação nitrogenada e precipitação que influenciam nas características agronômicas do girassol AG 910 no cerrado de Roraima**. Boa Vista: EMBRAPA, 2003. 16 p.

SMIDERLE, O. J.; MOURÃO JUNIOR, M.; GIANLUPPI, D. Avaliação de cultivares de girassol em savana de Roraima. **Revista Acta Amazonica**, v. 35, p. 331-336, 2005.

SOUSA, J. T. *et al.* Reúso de Água residuária na Produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 89-96, 2006.

SOUZA, R. M. *et al.* Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza, 1993. 194 p.

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C. M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1487-1492, 1991.

Uso do esgoto doméstico tratado como alternativa de água e nitrogênio para a produção do girassol

RESUMO

Diante da pressão da sociedade mundial atual para se aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável, tem se cobrado o uso de fontes alternativas de água para irrigação e nutrientes, em especial o nitrogênio, que é utilizado em grandes quantidades nos campos de produção. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação bem com sua eficiência na substituição do fertilizante nitrogenado comercial para a produção do girassol. O trabalho foi conduzido no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, em Aquiraz, CE. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação; nas subparcelas foram distribuídos cinco lâminas de irrigação baseadas em percentuais da evaporação do tanque classe A (ECA), que corresponderam à multiplicação da ECA pelos fatores 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25, e nas subsubparcelas, avaliou-se o efeito de quatro doses de adubação nitrogenada 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹. Nas variáveis massa do capítulo, massa de aquênios por capítulo e potencial produtivo de grãos foram observados maiores resultados quando se irrigou com esgoto, diferenciando-se estatisticamente dos valores obtidos sob irrigação com água de poço freático. Com exceção do teor de óleo, todas as variáveis de produção analisadas diferenciaram-se significativamente com a disponibilidade hídrica e doses de nitrogênio. Recomenda-se o uso de água de reúso para produção do girassol sob a lâmina de irrigação de 296,64 mm e dose nitrogenada de 25 Kg de N ha⁻¹.

Palavras-chave: reúso de água, gotejamento, adubação, *Helianthus annuus* L.

Use of treated domestic sewage as alternative of water and nitrogen for the production of sunflower

ABSTRAT

Nowadays under pressure from world society to increase agricultural productivity in a sustainable way, it has been charged for the use of alternative sources of irrigation water and nutrients, especially nitrogen which is used in large quantities in the production fields. Thus this study evaluated the influence of the use of treated domestic wastewater for irrigation and its efficiency with the replacement of commercial fertilizer in the production of sunflower. This work was carried at the Research Center on Wastewater Treatment and Reuse in Aquiraz, CE. The statistical design used was randomized blocks, in split split plot with four replications. In the plots was evaluated the effect of two types of irrigation water and the subplots were assigned five irrigation levels based on percentages of evaporation of class "A" PAN, which corresponded to the multiplication of ECA by factors 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25 and in subsubplots, was evaluated the effect of four nitrogen doses fertilization 25, 50, 75 and 100 kg ha⁻¹. In the variables: chapter mass, mass per achenes for each chapter and seeds yield potential, were observed higher results when irrigated with sewage with difference statistic the values obtained under irrigation with well water. With the exception of the oil, all the variables analyzed production differs significantly with the availability of water and nitrogen. We recommend the use of reuse water for production of sunflower under irrigation of 296.64 mm and nitrogen dose of 25 kg N ha⁻¹

Keywords: reuse water, drip irrigation, fertilization, *Helianthus annuus* L.

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) foi em 2009/2010 a 4^o oleaginosa mais produzida no mundo, correspondendo a 7,91% da produção, ficando atrás apenas da palma, com 32,97%; da soja, com 28,45% e da canola 15,31% (BRASIL, 2010a). Na safra de 2009/2010, o Brasil produziu 80,6 mil toneladas de girassol, o Ceará contribuiu com 0,9 mil toneladas. A produtividade do girassol do Nordeste (640 kg ha^{-1}) está bem abaixo da média nacional ($1.136,8 \text{ kg ha}^{-1}$) (BRASIL, 2010b). As médias baixas podem estar associadas às baixas e irregulares precipitações pluviométricas regionais. Desta forma, o uso da irrigação torna-se fundamental para amenizar e corrigir os problemas oriundos do suprimento hídrico inadequado (GARCIA *et al.*, 2007).

Acosta (2009), trabalhando com a cultura do girassol, avaliando o consumo hídrico da cultura irrigada na região da chapada do Apodi – RN, observou incremento da produtividade e teor de óleo com o aumento da disponibilidade hídrica. Ainda segundo o autor, a maior produtividade de $2863,12 \text{ kg ha}^{-1}$ e teor de óleo dos grãos de $675,57 \text{ kg ha}^{-1}$ foram obtidos com a lâmina de 554,1 mm durante o ciclo da cultura.

Silva *et al.* (2007), trabalhando com a cultura do girassol sob diferentes lâminas de irrigações, em Lavras, MG, observaram efeito significativo das variáveis produtivas. Os melhores resultados de diâmetro do capítulo de 17,644 cm; potencial produtivo de $2863,12 \text{ kg ha}^{-1}$ e teor de óleo de $675,57 \text{ kg ha}^{-1}$, foram obtidos com a lâmina de irrigação de 522,14 mm (130 % ETc). Silva *et al.* (2010), também com a cultura do girassol sob diferentes lâminas de irrigação, em Pentecoste, CE, observaram os maiores rendimentos de diâmetro do capítulo, massa de mil aquênios, potencial produtivo e teor de óleo, os quais foram de 18,28 cm, 71,49 g, $3.948,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1.760,63 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, obtidos com a lâmina 533,7 mm.

Assim como a água, a adubação nitrogenada é fundamental para o bom desenvolvimento do girassol. Para Sanzonowicz; Amabile (2001), o nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o desenvolvimento, e a produção da planta. A falta deste nutriente afeta o crescimento e o desenvolvimento de grãos, o tamanho dos aquênios, o teor de óleo e proteínas nas plantas. Ainda segundo autores, a aplicação de N em excesso pode provocar acamamento das plantas. A diminuição do teor de óleo e o aparecimento de doenças também podem ser observados quando o N encontra-se em excesso.

Biscaro *et al.* (2008), trabalhando com a cultura do girassol sob diferentes doses de nitrogênio, em Cassilândia-MG, observaram melhores resultados de 11,9 cm, 7,19 g, 2.101

kg ha⁻¹ para diâmetro do capítulo, massa de 100 aquênios e potencial produtivos. Os autores recomendam 55 kg ha⁻¹ de N para o cultivo do girassol, para se obter a máxima eficiência técnica.

Em muitos trabalhos vem sendo observado incremento das características produtivas com o aumento dos fatores de produção, lâmina de irrigação e doses de nitrogênio até o ponto de máxima, em que, o aumento de um ou dois fatores promove redução das variáveis produtivas. Barros; Costa; Aguiar (2002), trabalhando com a cultura do melão no Vale do Curú, CE, sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio observaram aumento quadrático do potencial produtivo em função dos fatores de produção lâmina de irrigação e doses de nitrogênio. Silva *et al.* (2008), trabalhando com a alface americana em Lavras, MG, também observaram efeito quadrático do potencial produtivo com aumento dos fatores de produção, lâmina de irrigação e doses de nitrogênio.

O uso excessivo de água e nutrientes na produção agrícola é questionado tanto devido ao aumento do custo de produção, podendo inviabilizar a produção; quanto ao meio ambiente, pela possibilidade da contaminação do lençol freático por fertilizantes, quanto pelo uso excessivo de água na produção agrícola, de aproximadamente 70% da demanda global. No Brasil seu uso equivale a 61% (CHRISTOFIDIS, 2001). Desta forma, atualmente vem se questionando o uso de esgoto doméstico tratado para irrigação, já que possivelmente atenderia duas necessidades agrícolas: redução dos fertilizantes químicos e uso de uma água de menor qualidade na agricultura deixando a água potável para fins mais nobres, como consumo humano (RAMOS, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho visa avaliar o desempenho produtivo do girassol sob dois tipos de água para irrigação do girassol; cinco lâminas de irrigação e quatro doses de nitrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos do experimento conduzido em campo, entre os meses de novembro e fevereiro de 2009/2010, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, da Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE) e Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Aquiraz, região metropolitana de Fortaleza. Distante aproximadamente 24,7 km de Fortaleza, com acesso através da CE 040, a área experimental encontra-se localizada ao sul da cidade de Aquiraz, com coordenadas 3° 54' 05" de latitude sul e 38 ° 23' 28" longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 14,2 m.

O clima da região é razoavelmente homogêneo, segundo a classificação climática de Köppen; AW' corresponde a Tropical chuvoso, com pequenas oscilações relacionadas ao regime pluviométrico. Precipitação média anual acima de 1500 mm. O solo da área está classificado como argissolo, textura franca arenosa média e relevo plano (EMBRAPA, 1999). Os atributos físico-hídricos e químicas do solo são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Atributos físico-hídricos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009

Composição físico-hídrico	Camada (m)	
Composição granulométrica (kg kg ⁻¹)	0 – 0,20	0,20 – 0,40
Areia grossa	495	603
Areia fina	434	322
Silte	57	56
Argila	14	19
Argila natural	10	16
Classificação textural	Areia	Areia
Densidade (kg dm ⁻³)		
do solo	1,57	1,58
das partículas	2,62	2,62
Umidade do solo (m ³ m ⁻³)		
33 kPa	3,06	3,17
1.500 kPa	1,60	1,48
pH (água)	6,5	6,0
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	0,13	0,12

Tabela 2 - Atributos químicos do solo da área experimental, Aquiraz, CE, 2009

Atributos Químicos	Camada (m)	
Complexo Sortivo cmolc kg ⁻¹	0 – 0,20	0,20 – 0,40
Cálcio	1,4	1,4
Magnésio	1,3	1,4
Sódio	3	6
Potássio mg dm ⁻³	50	87
Hidrogênio + Alumínio	1,32	1,48
Alumínio	0,15	0,15
Soma de bases (S)	58	59
Capacidade de troca de cátions		
Saturação de bases		
Porcentagem de sódio trocável PST	1	1
Carbono (g kg ⁻¹)	5,04	3,72
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	0,5	0,33
Relação C/N	10	11
Matéria orgânica (mg kg ⁻¹)	8,69	6,41
Fósforo assimilável (mg kg ⁻¹)	74	30

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas (splitsplit-plot) com dois tratamentos na parcela, cinco na subparcela e quatro na subsubparcela, com quatro repetições. Cada bloco media 6,00 m de largura por 36,00 de comprimento, em que neste foram distribuídas aleatoriamente as duas parcelas de 6,00 m de largura por 12,00 m de comprimento. As subparcelas eram constituídas de quatro linhas de planta de 6,00 m de comprimento, sendo as duas linhas externas consideradas como bordaduras, de modo a evitar influência entre os tratamentos, e as duas internas com linhas úteis. As subsubparcelas continham aproximadamente 30 plantas distribuídas em quatro linhas de 1,50 m. O espaçamento da cultura foi de 0,20 x 0,90 m.

As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AP; esgoto doméstico tratado - E). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe “A” (ECA), e nas subsubparcelas foram testadas cinco doses de adubação nitrogenada.

As lâminas de irrigação corresponderam a: L1, lâmina de irrigação referente a 25% da ECA; L2, lâmina de irrigação referente a 50% da ECA; L3, lâmina de irrigação referente a 75% da ECA; L4, lâmina de irrigação referente a 100% da ECA e L5, lâmina de irrigação referente a 125%.

As doses de nitrogênio corresponderam a: N1, 25 kg de N ha⁻¹; N2, 50 kg de N ha⁻¹; N3, 75 kg de N ha⁻¹ e N4, 100 kg de N ha⁻¹, utilizando como fonte a uréia. Sendo que a aplicação foi realizada com 40% aos 15 dias após a emergência (DAE) e 60% aos 30 DAE.

O esgoto doméstico tratado, proveniente de domicílios do município de Aquiraz, foi tratado por sistema de lagoas de estabilização em série, composta por: uma lagoa

anaeróbia; uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação. As análises das águas foram realizadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Hídrica e Ambiental (LABOSAN) e os resultados constam na Tabela 3.

Tabela 3 - Características química das águas utilizadas no experimento, Aquiraz, CE, 2009

Parâmetro	Tipos de água	
	Água de poço	Esgoto
pH	6,0	7,8
CE (dS/cm)	0,208	0,727
Sódio (mg/L)	19,2	53,7
Cálcio (mg/L)	16,0	45,4
Magnésio (mg/L)	16,2	28,0
Potássio (mg/L)	10,1	26,2
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	15,6	148,1
Cloretos (mg/L)	37,7	92,5
DBO (mgO ₂ /L)	16,6	36,7
DQO não filtrada (mgO ₂ /L)	72,6	111,8
ST (mg/L)	219,3	520,6
SST (mg/L)	6,8	15,2
SDT (mg/L)	214,8	547,5
Amônia (mg/L)	0,0	7,7
Fósforo (mg/L)	0,2	12,8
Coliformes total (NMP/100mL)	298	653
E. Coli (ovos/L)	26,5	77,31
Ovos de helmintos (UT)	0,0	0,4

A adubação baseou-se na análise química do solo e exigências nutricionais da cultura. Foram aplicados o equivalente a 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 20 kg de K₂O ha⁻¹, tendo sido usado como fonte dos nutrientes o fosfato de monoamônio (MAP) e o sulfato de potássio, respectivamente. Os fertilizantes foram distribuídos durante a fase vegetativa da cultura. Para suprir possíveis deficiências de micronutriente, foram aplicados 12 g de FTE-BR 12 (9% Zn, 1,8% B, 0,85% Cu, 3% Fe, 2,1% Mn e 0,10% MO) por cova, na fundação, conforme recomendação da Universidade Federal do Ceará (1993).

O método de irrigação adotado foi do tipo localizado, sendo dois sistemas (um para irrigação com o esgoto doméstico tratado e o outro para irrigação com água de poço freático), com gotejadores tipo autocompensantes, modelo katif, com vazão de 3,75 l h⁻¹ a uma pressão de serviço de 100 kPa, espaçados de 0,5 m na linha com um gotejador por duas plantas.

2.1 Variáveis analisadas

Aos 114 dias após semeadura (DAS), os capítulos foram colhidos e armazenados 20 dias em ambiente controlado e em seguida levados à estufa durante 48 h, a fim de homogeneizar a umidade. As variáveis de produção avaliadas foram: Massa do capítulo (MC), massa de aquênios por capítulo (MA), massa de 1.000 aquênios (M1000A), potencial produtivo de aquênios (PP), teor de óleo (TO) e potencial produtivo de óleo (PPO).

2.1.1. Massa do Capítulo

Aos 114 dias após semeadura (DAS), os capítulos foram colhidos e armazenados 20 dias em ambiente controlado e em seguida levados à estufa durante 48 h a fim de homogeneizar a umidade. Após secagem em estufa com ventilação forçada de ar, a 65 °C. Para determinação da massa dos capítulos, foram pesados os capítulos da 2°, 3°, 4° e 5° planta das duas linhas úteis das subsubparcelas e em seguida expressas em gramas (g) (Figura 1).



Figura 1 – Foto dos aquênios antes (a) e pos beneficiamento (b). Deatalhes da máquina utilizada no beneficiamento: porta de alimentação (c), gaveta de limpeza (d), saída do material beneficiado (e), peça acoplável para separar aquênios das impurezas (f). UFC, Fortaleza, CE, 2009.

2.1.2 Massa de aquênios

Após o beneficiamento, em que foram separados os aquênios das impurezas, em seguida foi realizada uma nova pesagem, em que foi determinada massa de aquênios, também expressa em gramas (g) Figura 2.



Figura 2 – Foto da pesagem dos aquênios, UFC, Fortaleza, CE, 2010.

2.1.3 Massa de 1000 aquênios

A massa de mil aquênios dos tratamentos foi determinada de acordo com as orientações prescritas nas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 1992), por meio da contagem direta dos aquênios e por meio da mensuração da massa dos aquênios, utilizando-se para isso uma balança com precisão de quatro casas decimais e o valor foi expresso em gramas (g) (Figura 3).



Figura 3 – Foto da pesagem da massa de mil aquênios (g), UFC, Fortaleza, CE, 2010.

2.1.4 Potencial de produção de aquênios

A estimativa do potencial de produção de aquênios em quilograma por hectares (kg ha^{-1}) foi realizada levando em consideração a massa de aquênios das plantas presentes na área útil da subsubparcela. Em seguida, foi determinada, por média, a massa de aquênios por planta, expresso em gramas (g). O cálculo do potencial produtivo de aquênios foi estimado em função da massa de aquênio médio produzido por planta e população de plantas, $55.555 \text{ plantas ha}^{-1}$, conforme o espaçamento adotado na cultura, no presente trabalho.

2.1.5. Teor de óleo dos aquênios

O teor de óleo foi determinado no Laboratório do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo método do Soxhlet, utilizando-se um sistema para determinação de gordura (Modelo TE-044-5/50), segundo a metodologia da Associação

Brasileira de Normas Técnicas - ABNT/NBR 13348 (1995). Para realizar a extração do óleo, os aquênios foram macerados, objetivando aumentar a superfície de contato dos mesmos com o solvente. Utilizou-se aproximadamente 12 g de aquênios macerados para cada amostra e em seguida a massa dos aquênios foi envolvida com papel filtro. Adicionou-se hexano até cobrir totalmente a amostra e em seguida colocou-se para refluxar no Soxhlet, por um período de aproximadamente seis horas. Ao término do período de extração, o solvente foi separado do óleo por meio de um retroevaporador rotatório, sob pressão reduzida. A massa de óleo obtida foi pesada e comparada com a massa dos aquênios utilizada na extração, e em seguida os resultados foram calculados em porcentagem de base seca. Na Figura 4 estão indicados os procedimentos laboratoriais realizados para a determinação do teor de óleo dos aquênios de girassol.



Figura 4 – Esquema do sistema utilizado para determinação do teor de óleo dos aquênios: tempo de banho, temporizador, (a); tubo recuperador do hexano (b); reboiler com amostra de aquênios macerado (c); controlador de temperatura do sistema (d) . Laboratório do Departamento de Fitotecnia da UFC, Fortaleza, CE, 2010.

2.2. Análise estatística

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparadas usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa, foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se ajustar equações com significados biológicos, sendo selecionados os modelos matemáticos que apresentaram melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação (R^2), utilizando-se para isso o software para análises estatísticas da Universidade Federal de Viçosa (2005) SAEG 9.0 UFV e ASSISTAT 7.6 Beta da Universidade Federal de Capina Grande.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises das variâncias para os dados de massa do capítulo (MC), massa de aquênios por planta (MA), massa de mil aquênios (M1000A), potencial produtivo (PP), teor de óleo (TO) e potencial produtivo de óleo (PPO) podem ser observados na Tabela 4. Pelos resultados apresentados, verificou-se efeito significativo do tipo de água (AP - Água de poço e E - esgoto doméstico tratado) para a massa do capítulo, massa de aquênios por planta e potencial produtivo. No tratamento lâmina de irrigação, houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas (MC, MA, M1000A, PP e PPO). Quanto às doses nitrogenadas, também se verificou efeito significativo para todas as variáveis analisadas (MC, MA, M1000A, PP, TO e PPO). Na interação A x L houve efeito significativo para as variáveis MC, MA, PP e PPO. Já nas interações A x N e L x N, houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas (MC, MA, M1000A, PP e PPO). Na interação tripla A x L x N houve efeito significativo para as variáveis MC, MA, PP e PPO. O efeito significativo nas interações revela dependência entre estes fatores.

Tabela 4 - Resumo da análise da variância para os dados de massa do capítulo (MC), massa de aquênios por capítulo (MA), massa de mil aquênios (M1000A), potencial produtivo de grãos (PP), teor de óleo (TO) e potencial produtivo de óleo (PPO) do girassol sob dois tipos de água de irrigação (A), cinco lâminas de irrigação (L) e quatro doses de nitrogênio (N). Aquiráz, CE, 2010

Fonte de variação	G. L.	Quadrados médios					
		MC	MA	M1000A	PP	TO	PPO
Bloco	3	5,665ns	17,390ns	12,658ns	53671,79ns	51,917ns	70302,99ns
Trat. (A)	1	1994,671**	462,601**	50,113ns	1437780,66**	3,538ns	127081,45ns
Res. A	3	6,951	4,308	32,179	13297	51,601	35811,18
Trat. (L)	4	4055,279**	2514,97**	516,345**	7762277,790**	17,014ns	1039444,29**
Int. A x L	4	892,207**	441,768**	120,134**	1363481,785**	7,782ns	119852,80**
Res. L	24	20,933	5,999	14,055	18515,13	9,367	10228,99
Trat. (N)	3	2149,157**	1021,987**	118,296**	3154281,648**	14,771ns	397819,53**
Int. A x N	3	647,485**	442,917**	70,016**	1367029,495**	12,155ns	217774,5**
Int. L x N	12	187,286**	91,512**	46,252**	282445,021**	5,998ns	42642,32**
Int. AxLxN	12	208,407**	71,599**	50,182**	220983,842**	5,433ns	42366,39**
Res. N	90	8,643	8,481	12,771	26177,59	4,912	7985,93**

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; N – Níveis de nitrogênio; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

3.1 Massa do capítulo

As maiores médias de massa do capítulo (MC) 76,11 g, foram obtidas com uso de água de reúso na irrigação, quando comparadas à massa de 69,04 g obtida com a água de poço, diferenciando-se estatisticamente. Nobre *et al.* (2010) associam os bons resultados obtidos em seus experimentos com água de reúso na produção agrícola ao aporte de nutrientes disponibilizados pela mesma. Souza *et al.* (2010) relatam que os maiores resultados obtidos para o girassol irrigado com esgoto doméstico em comparação ao girassol irrigado com água de abastecimento devem-se aos nutrientes dissolvidos na água de reúso, entre os quais se destacam o nitrogênio, o fósforo e o potássio.

Quanto à variação da disponibilidade hídrica, a maior média de MC para água de poço foi de 83,82 g com o L3 (222,48 mm), diferenciando-se estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais tratamentos L1, L2 e L4. Para o esgoto, a maior média de MC de 84,84 g também foi obtida com a lâmina L3, contudo, não diferenciando estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos L4 e L5. Nobre *et al.* (2010) também obtiveram efeito significativo ($P < 0,01$) da fitomassa do capítulo em função da necessidade hídrica.

Na variação das doses de nitrogênio as maiores médias de MC foram de 82,72 g e 82,65 g com o N3 para água de poço e esgoto respectivamente, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos N1, N2 e N4 (Tabela 05).

Os máximos valores de MC ficaram abaixo do obtido por Chambó (2010), que trabalhando com diversas cultivares de girassol, entre elas a multissol, obteve massa de capítulo de 135,49 g. Esta diferença pode estar associada à introdução de colméias de abelhas no campo facilitando a polinização, já que no mesmo trabalho o referido autor observou massa de capítulo de 81,51 g para a Mutissol protegida com saco de filó, valor próximo aos máximos obtidos no presente trabalho. Desta forma, independente do tipo de água utilizado na irrigação a massa de capítulo do presente trabalho poderia ter sido provavelmente aumentada com a introdução de colméias de abelha na área experimental.

Tabela 5 - Médias das massas do capítulo (MC) em função de dois tipos de água para irrigação, cinco lâminas de irrigação e quatro doses de adubação nitrogenada. Aquiraz, CE, 2010

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Médias	
		N1 25	N2 50	N3 75	N4 100		
		Massa do capítulo (g)					
Água de poço	L1	74,16	50,10	59,94	62,37	44,45	54,84 d
	L2	148,32	58,23	62,13	81,86	70,75	71,30 c
	L3	222,48	72,22	96,75	99,92	61,17	83,82 a
	L4	296,64	48,29	57,17	66,36	55,74	77,84 b
	L5	370,80	61,26	75,88	96,01	75,56	57,42 d
	Médias		58,91 D	71,11 B	82,72 A	63,44 C	69,04 b
Esgoto	L1	74,16	51,34	52,34	57,15	64,04	56,22 c
	L2	148,32	70,06	70,09	75,98	73,09	72,30 b
	L3	222,48	80,01	76,50	97,15	85,71	84,84 a
	L4	296,64	83,99	70,98	94,29	87,72	84,24 a
	L5	370,80	71,36	87,75	88,69	83,92	82,93 a
	Médias		71,35 C	71,53 C	82,65 A	78,89 B	76,11 a

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas e minúscula em negrito na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da análise de regressão, dos dados de diâmetro do caule em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foi determinado o modelo matemático que melhor se ajustasse aos dados (Tabela 6); em seguida, de posse das equações foram confeccionados os gráficos de superfície de resposta da massa do capítulo, para cada tipo de água, poço e esgoto (Figura 5 A e B).

Tabela 6 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para massa do capítulo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiraz, CE, 2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ^{2*}
Modelo Y = a + b*X + c*X ² + d*Z + e*Z ²						
Água de poço	Constante	- 26,2535				
	LAM	0,549049	0,094413	5,81543	0,0000	0,78
	LAM ²	- 0,001198	0,0002082	-5,75682	0,0000	
	NIT	0,016745	0,389215	4,30231	0,0003	
	NIT ²	- 0,012589	0,003065	- 4,10725	0,0005	
Modelo Y = a + b*X + c*X ² + d*Z						
Esgoto	Constante	24,0923				
	LAM	0,365172	0,0672857	5,427181	0,0000	0,82
	LAM ²	- 0,0006226	0,0001484	- 4,19653	0,0003	
	NIT	0,134984	0,04884	2,763542	0,0069	

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

A Figura 5A, representa a superfície de resposta estimada para a massa do capítulo do girassol irrigado com água de poço, em função dos fatores de produção, lâminas

de irrigação e doses de nitrogênio, de acordo com o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados. A maior massa do capítulo estimada de 91,36 g, considerada como ponto de máxima, foi obtida com os tratamentos L3 (222,48 mm) e N3 (75 Kg ha⁻¹ de N). De acordo com o gráfico, pode-se observar complementaridade entre os fatores de produção. Desta forma, aumento da fertilidade do solo, por meio do incremento das doses nitrogenadas, melhorou a eficiência da água, sendo a recíproca verdadeira. Corroborando com Klar (1988) ao afirmar que a fertilidade do solo, em particular, promove uma maior eficiência de uso da água pelas culturas. Ainda segundo o autor, o nitrogênio é o nutriente que promove expressiva variação na eficiência do uso da água pelas culturas.

Ainda em relação à superfície de resposta da água de poço (Figura 5A), nota-se que fixando a menor lâmina de irrigação L1 (71,16 mm) e variando as doses de nitrogênio ou fixando a menor dose de nitrogênio N1 (25 kg ha⁻¹ de N) e variando as lâminas de irrigações, registram-se valores máximos de massa de aquênios próximos de 62,65 g e 70,57 g, respectivamente, valores estes bem abaixo do ponto de máxima de 91,36 g, quando se tem água e nitrogênio nas quantidades ideais (L3 e N3). Destacando a importância e a complementaridade destes dois fatores de produção, e que sempre devem estar em equilíbrio para que a planta possa expressar o máximo do seu potencial genético. Corroborando com Lopes (1989), ao afirmarem que quando o rendimento de uma cultura aumenta com a adubação, e a eficiência do uso da água pela cultura também aumenta.

Assim como para o girassol irrigado com água de poço, superfície de resposta, para o girassol irrigado com esgoto doméstico tratado também foi observado incremento da massa do capítulo em função dos fatores de produção, de acordo com o modelo matemático quadrático, que melhor ajustou aos dados. Contudo, não foi verificado ponto de máxima (Figura 5B). Os melhores resultados de massa de aquênio de 91,07 g, obtidos com os tratamentos L4 (296,64 mm) e N4 (100 kg ha⁻¹ de N).

Nobre *et al.* (2010) observaram incremento linear da massa fresca do capítulo (MFcap) com o aumento da disponibilidade da água de reúso para planta. Ainda segundo os autores, o incremento máximo foi de 6,5%, quando comparado às MFcap entre os tratamentos 40 e 120% da reposição hídrica. Os resultados apresentados pelos referidos autores divergem do presente trabalho, em que foi observado incremento quadrático da massa do capítulo em função da disponibilidade hídrica e aumento de até 78% da massa de capítulo entre os tratamentos L1N1 e L4N4, diferença que pode estar associada ao consórcio da disponibilidade hídrica e fertilidade do solo atribuído no presente trabalho.

De acordo com a projeção, da superfície de resposta, para se produzir praticamente a mesma massa de capítulo 91,07 g e 91,36 g seria necessário investir mais água (74,16 mm) e nitrogênio (25 kg ha⁻¹) para o girassol irrigado com esgoto quando comparado com o girassol irrigado com água de poço, respectivamente. Porém com os menores tratamentos L1N1(74,26 mm e 25 kg de N ha⁻¹) pode-se observar que a irrigação com água de poço freático proporcionou massa de capítulo de aproximadamente 40 g, inferior em 25%, quando comparado à massa do capítulo estimado para água de reúso de aproximadamente 50 g. Ainda com relação à superfície de respostas pode-se observar menor variação da massa do capítulo, para irrigação com água de reúso, em função dos tratamentos do tipo lâmina de irrigação e doses de nitrogênio. Corroborando com Nobre *et al.* (2010), ao afirmarem que além de fonte hídrica o girassol também usa a água de reúso como aporte de nutriente. Klar (1988) afirma que a fertilidade do solo, em particular, promove uma maior eficiência de uso da água pelas culturas, sendo o nitrogênio um dos nutrientes que promove expressiva variação na eficiência do uso da água pelas culturas.

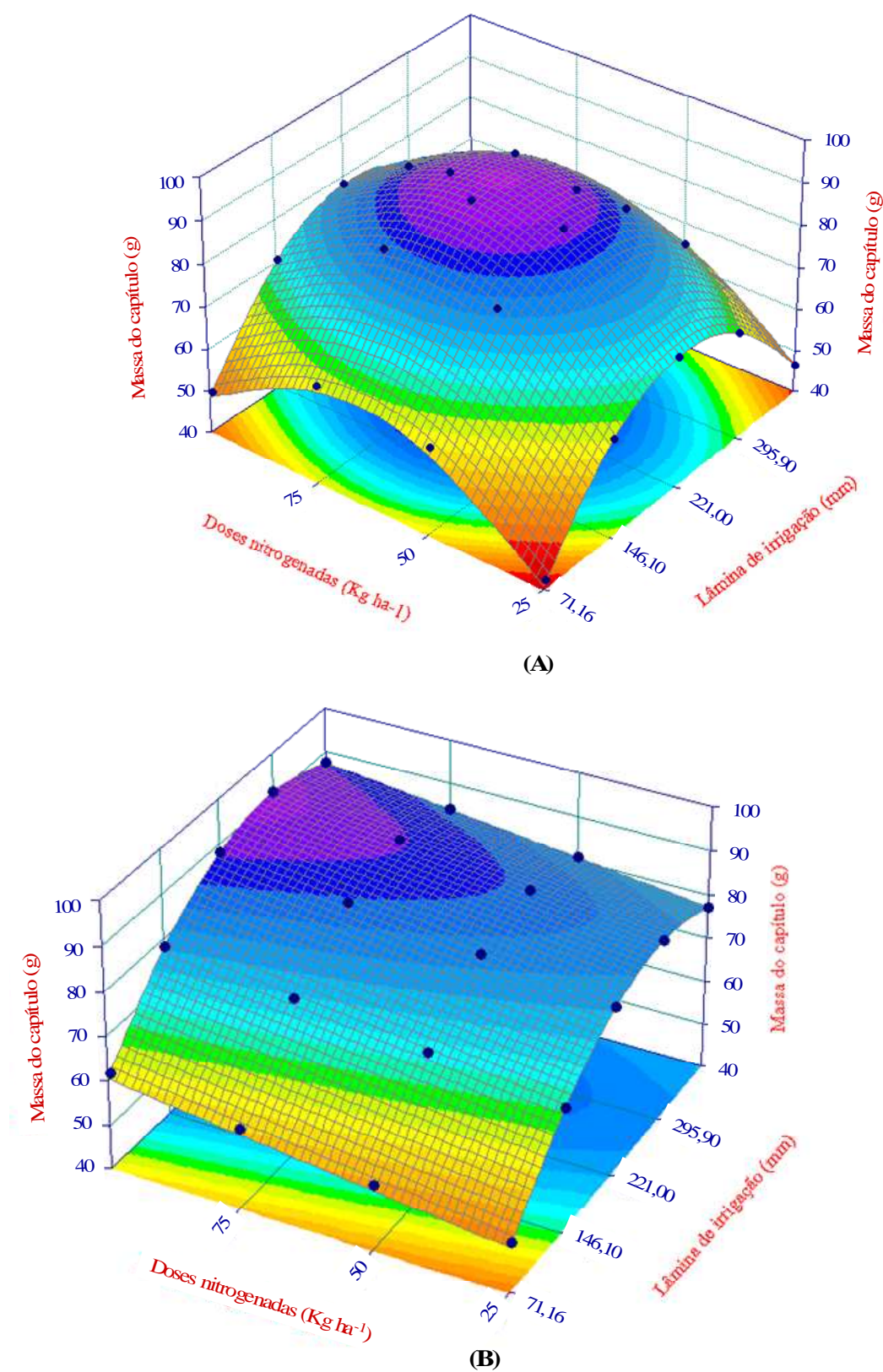


Figura 5 - Superfície de resposta da massa do capítulo do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.

3.2 Massa de aquênios

As maiores médias de massa de aquênios (MA) 53,76 g, foram obtidas com uso de água de reúso, quando comparadas às massas de 50,35 g obtidas com a água de poço, diferenciando-se estatisticamente ($p < 0,01$) (Tabela 7).

Na variação das lâminas de irrigações, a melhor média de MA para água de poço foi de 59,35 g com o L4 = 296,64 mm (100% ECA), não se diferenciando estatisticamente ($p < 0,05$) do tratamento L3. Assim como na água de poço as maiores médias de MA para água de reúso (62,76) também foram obtidas com L4, contudo, diferenciando-se estatisticamente ($P < 0,05$) dos demais tratamentos L1, L2, L3 e L5 (Tabela 7). Estes valores foram superiores aos observados por Lima *et al.* (2011), de 48,95 g, também trabalhando com o girassol sob irrigação localizada com lâmina de 75% da ECA, diferença que pode estar associada à disponibilidade hídrica no solo.

Os valores de massa de capítulo, para o esgoto, observados no presente trabalho, também foram superiores aos observados por Nobre *et al.* (2010) de 42,3 g para o girassol irrigado com água de reúso em casa de vegetação sob lâmina de 120% da necessidade hídrica. Fato que pode expressar a importância da substituição apenas parcial da adubação nitrogenada pelo nitrogênio presente na água de reúso, uma vez que parte deste nitrogênio encontra-se na forma orgânica, ou seja, não disponível para a planta.

Com a variação das doses de nitrogênio, as maiores médias de MA foram de 60,71 g e 57,99 g com o N3 para água de poço e esgoto, respectivamente. Houve efeito significativo da massa de aquênios em função das doses de nitrogênio, quando se irrigou com água de poço, o tratamento N3, diferenciando-se estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais tratamentos N1, N2 e N4. Já para água de reúso a massa obtida com o tratamento N3 não se diferenciou estatisticamente ($p < 0,05$) do obtido com N4, de 56,43 g (Tabela 7).

Carvalho; Pissaia (2002), trabalhando com a cultura do girassol em plantio direto sob diferentes doses nitrogenadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg.ha⁻¹) no Paraná sem o uso da irrigação, não observaram diferença significativa entre a massa de aquênios por capítulo. Ainda segundo os autores, a média da massa de capítulo foi de aproximadamente 31,65 g, valor próximo a 31,96 g obtido com o tratamento L1N1 (lâmina de irrigação de 74,16 mm e 25 kg ha⁻¹ de N), menor tratamento de água e nitrogênio atribuído no presente trabalho. Enfatizando a importância do uso simultâneo de fertilizantes e água para produção desta cultura.

Ocorreu incremento de 35% e 15%, entre os tratamentos N3 e N1, para as águas de poço e de reúso, respectivamente. O menor incremento registrado para água de reúso deve-se provavelmente à presença do nitrogênio na água de reúso. Corroborando com Meli *et al.* (2002), ao afirmarem que o uso de águas residuárias na agricultura pode reduzir a necessidade do uso de fertilização mineral, permitindo um considerável suprimento de nitrogênio, tanto na forma orgânica como mineral.

Tabela 7 - Médias da massa de aquênios por capítulo (MA) em função de dois tipos de água para irrigação, cinco lâminas de irrigação e quatro doses de adubação nitrogenada. Aquiraz, CE, 2010

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de nitrogênio (Kg ha ⁻¹)				Médias	
		N1 25	N2 50	N3 75	N4 100		
Massa de aquênios por capítulo (g)							
Água de poço	L1	74,16	34,33	41,43	48,16	34,47	39,60 c
	L2	148,32	50,16	52,38	59,77	50,72	53,25 b
	L3	222,48	55,27	64,17	69,19	44,35	58,24 a
	L4	296,64	51,31	57,20	74,35	54,54	59,35 a
	L5	370,80	33,57	40,86	52,10	38,87	41,35 c
	Médias		44,93 C	51,21 B	60,71 A	44,59 C	50,35 b
Esgoto	L1	74,16	32,11	36,76	38,20	42,48	37,39 d
	L2	148,32	51,09	47,54	58,30	52,34	52,32 c
	L3	222,48	60,07	52,36	61,39	61,48	58,82 b
	L4	296,64	64,10	52,61	69,30	65,04	62,76 a
	L5	370,80	44,81	61,58	62,80	60,83	57,50 b
	Médias		50,44 B	50,17 B	57,99 A	56,43 A	53,76 a

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas e minúscula em negrito na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da análise de regressão dos dados de diâmetro do caule em função as lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foi determinado o modelo matemático que melhor se ajustasse aos dados (Tabela 8); em seguida, de posse das equações, foram confeccionados os gráficos de superfície de resposta da massa do capítulo, para cada tipo de água, poço e esgoto (Figura 6 A e B).

Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para massa de aquênios por capítulo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
<u>Modelo</u>						
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2$						
Água de poço	Constante	- 16,2476				
	LAM	0,40127	0,061522	6,52237	0,0000	0,81
	LAM ²	- 0,0008727	0,0001356	- 6,43355	0,0000	
	NIT	0,011542	0,253625	4,55086	0,0002	
	NIT ²	- 0,0089619	0,001997	- 4,48701	0,0002	
<u>Modelo</u>						
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z$						
Esgoto	Constante	10,6276				
	LAM	0,316544	0,053993	5,862727	0,0000	0,82
	LAM ²	-0,0005578	0,0001191	-4,685556	0,0001	
	NIT	0,103261	0,039195	2,634545	0,0090	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

Na Figura 6A observa-se o incremento estimado da massa de aquênios com o aumento da disponibilidade de água e nitrogênio, desempenho semelhante ao observado para massa do capítulo. De acordo com o modelo matemático escolhido, a maior massa de aquênios estimada de 65,98 g (ponto de máxima) seria obtida com os tratamentos L3 e N3, registrando a partir de então, queda da massa com o aumento dos fatores de produção.

Biscaro *et al.* (2008), trabalhando com o girassol irrigado por gotejamento sob diferentes doses de nitrogênio, observaram efeito significativo da massa de 100 aquênios e do número de aquênios por capítulo, sendo o modelo quadrático o que mais se ajustou aos dados. A partir dos resultados expostos pelos referidos autores, estimando-se a massa de aquênios por capítulo tem-se 21,16 g e 42,96 g, referente aos tratamentos 0 e 40 kg de N ha⁻¹, respectivamente, um incremento de aproximadamente 66%. Ainda a partir dos dados estimados, pode-se observar incremento quadrático da massa de aquênios por capítulo em função das doses de nitrogênio. Desta forma, pode-se observar a semelhança da massa de aquênios por capítulo, dos referidos autores, com o obtido no presente trabalho. Neste também foi observado comportamento quadrático para massa de aquênios por capítulo. Contudo, os limites mínimos e máximos foram de 31,96 e 65,96 g, um incremento de até 106%, quando comparado aos tratamentos L1N1 e L3N3 irrigado com água de poço (Figura 6A).

Avaliando a superfície de resposta da massa de aquênios (MA) do girassol irrigado com água de reúso, também foram observados resultados semelhantes aos da massa do capítulo. Pode-se observar que os tratamentos L4 e N4 foram o que proporcionaram

melhores massas de aquênios (65,77 g). Também não foi possível identificar o ponto de máxima, já que, massa de aquênios por capítulo foi sempre crescente com o aumento da doses de nitrogênio, assim como observado anteriormente para massa do capítulo (Figura 6B).

O efeito quadrático da massa de aquênios em função das lâminas de irrigação observado no presente trabalho para água de reúso diverge do observado por Nobre *et al.* (2010), que, trabalhando com a reposição da necessidade hídrica (40, 60, 80, 100 e 120%) com água de reúso no girassol cultivado em casa de vegetação, constataram incremento linear da massa de aquênios em função a disponibilidade hídrica. Ainda segundo os autores, os limites mínimo e máximo observados foram de 16,7 e 42,3 g, representando incremento máximo de 150% da massa de aquênio entre os tratamentos 40 e 120% da reposição hídrica. No presente trabalho estes limites foram de 33,62 e 63,77 g, representando um incremento de 96% entre os tratamentos L1N1 e L4N4, podendo ser observados melhores resultados da massa de aquênios tanto do limite inferior como superior do presente trabalho, que pode ser atribuído provavelmente à combinação água e nutriente disponível à planta.

O crescimento menos acentuado da massa de aquênios verificado com aumento das doses de nitrogênio, observado na superfície de resposta do esgoto quando comparada com a superfície da água de poço, principalmente nos tratamentos de maiores lâminas de irrigação, revela que provavelmente a planta utilizou parte do nitrogênio presente na água, como fonte de nutriente. Como também constatado por Nobre *et al.* (2010), ao afirmarem que o efluente tanto é importante para o suprimento hídrico como para o fornecimento de nutrientes para as plantas. Em algumas culturas, os nutrientes presentes na água de reúso podem substituir totalmente a adubação convencional, como constatado por Hussar *et al.* (2005) para a beterraba.

De acordo com as equações, haveria um aumento de 90% da massa de aquênios por capítulo, quando comparados aos tratamentos L1, N1 com L3, N4. Fixando a lâmina em L1 e variando as doses de nitrogênio, o maior acréscimo foi de 23 % ao comparar o N1 com N4. Já fixando as dose de nitrogênio em N1 e variando-se as lâminas de irrigação, o máximo incremento foi de 60%.

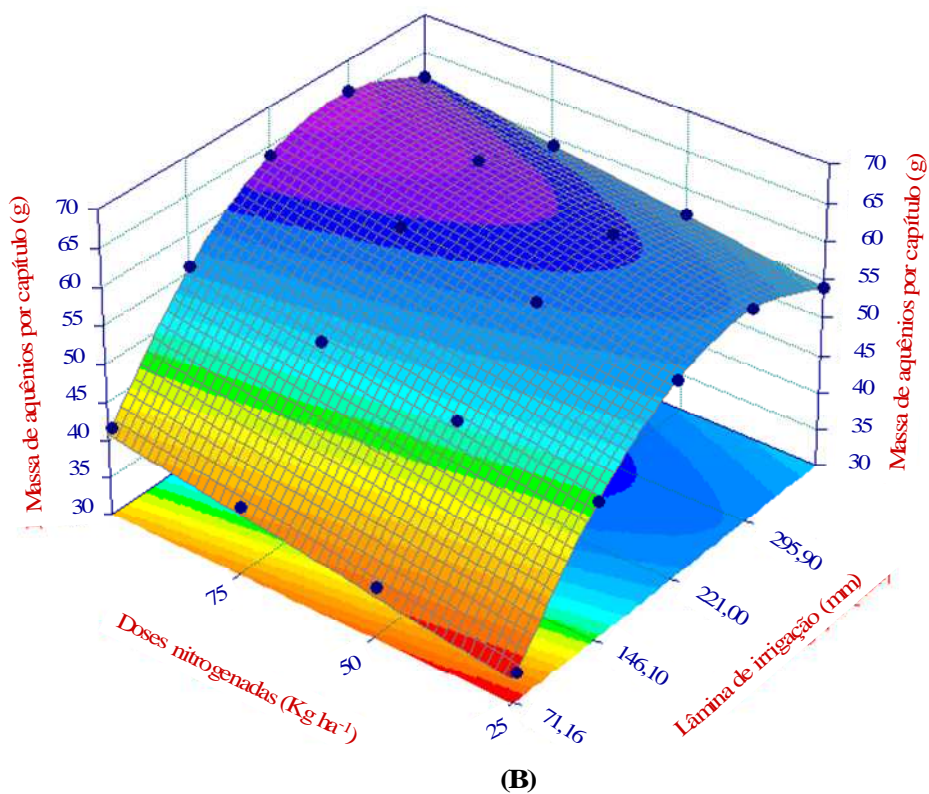
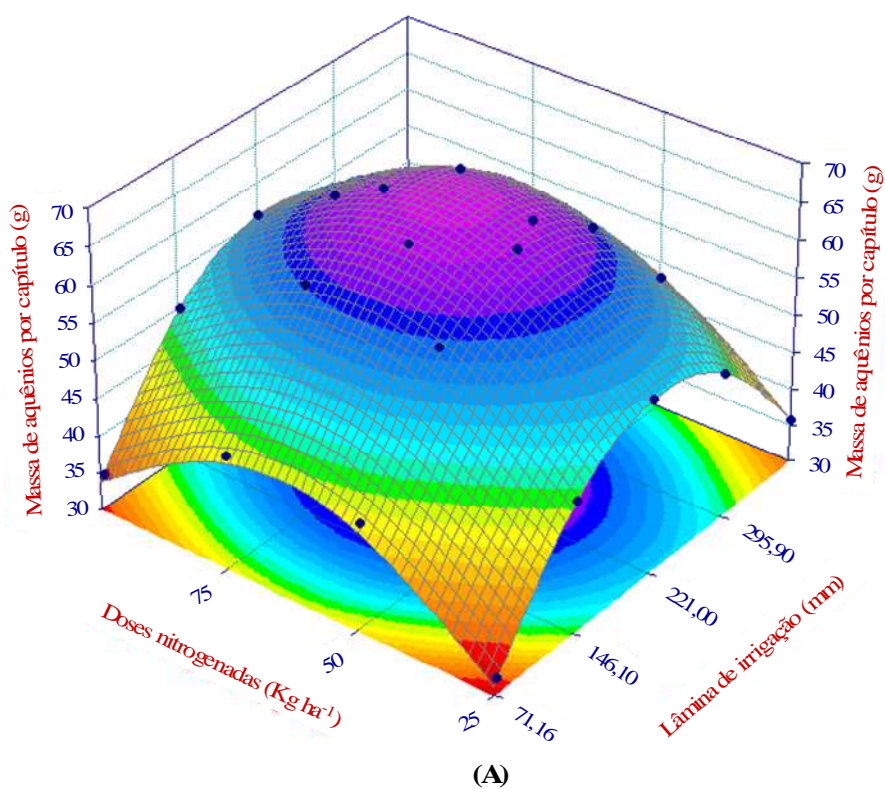


Figura 6 - Superfície de resposta da massa de aquênios por capítulo do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.

3.3 Massa de mil aquênios

Diferente das demais variáveis produtivas, diâmetro do capítulo, massa do capítulo e massa de aquênios, não foi observada diferença estatística ($p < 0,05$) entre as massas de 1000 aquênios para os dois tipos de água utilizados na irrigação, poço e esgoto doméstico tratado (Tabela 9). As massas de mil aquênios (M1000A) foram próximas, sendo a obtida com água de reúso um pouco superior à obtida sob irrigação com água de poço freático de 61,33 g e 60,21 g, respectivamente. Santos *et al.* (2010), trabalhando com a cultura do gergelim sob dois tipos de água de irrigação, água de poço e esgoto tratado, também não observaram diferença estatística entre a massa de cem sementes, embora, tenha se observado maior massa de sementes de aproximadamente 23% para o esgoto.

Lucas Filho *et al.* (2002), avaliando a cultura do girassol sob dois tipos de água de irrigação (água de poço e esgoto tratado) e diferentes densidades de planta em Rio Grande do Norte, não observaram diferença significativa entre a massa de mil aquênios obtida com os dois tipos de água. Ainda segundo os autores, a massa de mil aquênios obtidos para população de 90 mil plantas ha^{-1} foi de 60 g, próximo aos obtidos no presente trabalho.

Houve maior variação da M1000A com variação da disponibilidade hídrica do que com as doses de nitrogênio (Tabela 9). As maiores médias da massa de mil aquênios (M1000A) do girassol irrigado com água de poço foram obtidas com o tratamento L4, não diferenciando estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos L2 e L3. Já para irrigação com água de esgoto, as maiores médias de M1000A foram obtidas com a lâmina L3, não diferenciando estatisticamente ($p < 0,05$) da L5. Corroborando com Gomes *et al.* (2003) e Silva *et al.* (2011), ao constatarem diferenciação significativa da massa de mil aquênios em função das lâminas de irrigações.

Diferente do presente trabalho, Silva *et al.* (2007), trabalhando com duas cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação, não observaram diferença significativa da massa de mil sementes em função do aumento da disponibilidade hídrica, contudo observaram diferença estatística entre as duas cultivares avaliadas H250 e H251. Reforçando a hipótese de que há cultivares mais vulneráveis aos fatores de produção como água e nutrientes.

Corroborando com a presente pesquisa, Silva *et al.* (2011), trabalhando com duas cultivares de girassol (Catissol 01 e Embrapa 122 V) sob diferentes níveis de irrigação no Vale do Curú - CE, observaram efeito significativo da massa de mil aquênios em função das

lâminas de irrigação. Ainda segundo os autores, as maiores massas de mil aquênios foram de 73,39 g e 71,49 g, obtidas com 498,5 mm (140,10% da ECA) e 533,7 mm (150% da ECA) para as cultivares Catissol 01 e Embrapa 122 V-2000, respectivamente. Estes valores foram superiores aos observados no presente trabalho, diferença que pode também estar associada à diferença entre as cultivares.

A M1000A variou pouco com as dosagens de nitrogênio. Sob irrigação com água de poço, apenas a massa de mil do tratamento N1 (25 kg ha⁻¹) diferenciou-se estatisticamente da massa obtida nos demais tratamentos. (Tabela 9). Resultado semelhante foi observado para água de reúso, em que a menor dose de nitrogênio N1 (25 kg ha⁻¹) não se diferenciou estatisticamente (p<0,05) dos tratamentos N2 e N3.

As maiores médias de M1000A de 63,09 g e 63,18 g com 75 kg de N ha⁻¹ e 100 kg N ha⁻¹, obtidas para água de poço e esgoto, respectivamente, ficaram abaixo do observado por Biscaro *et al.* (2008), quando, trabalhando cultura do girassol, cultivar H 358 da Dekalb sob quatro doses de adubação nitrogenada (0, 20, 40 e 80 kg ha⁻¹), irrigada por gotejamento em Mato Grosso do Sul, alcançaram massa de mil aquênios máxima de aproximadamente 71,9 g com 44,9 kg ha⁻¹ de N. Diferença que pode estar atribuída à diferença genética das cultivares entre os experimentos. Já que Gaviraghi *et al.* (2010), avaliando o desempenho genético de 21 genótipos de girassol, observaram maiores massas de mil aquênios na H 358 da Dekalb, sendo 32,5% mais pesadas em relação à cultivar Multissol.

Tabela 9 - Médias da massa de aquênios por planta (MA) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e Níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2010

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Médias	
		N1 25	N2 50	N3 75	N4 100		
Água de poço	L1	74,16	51,20	53,12	56,02	55,16	53,87 c
	L2	148,32	60,24	60,64	65,43	63,43	62,43 a
	L3	222,48	60,94	69,67	65,45	55,53	62,90 a
	L4	296,64	55,75	66,60	69,21	64,61	64,04 a
	L5	370,80	55,64	56,72	59,32	59,57	57,81 b
	Médias		56,75 C	61,35 AB	63,09 A	59,66 B	60,21 a
Esgoto	L1	74,16	49,55	52,06	53,75	62,24	54,40 c
	L2	148,32	59,66	59,52	63,43	58,32	60,23 b
	L3	222,48	71,12	62,81	64,10	69,25	66,82 a
	L4	296,64	58,35	61,50	62,98	62,12	61,24 b
	L5	370,80	61,56	65,50	64,85	63,99	63,97 ab
	Médias		60,05 B	60,28 AB	61,82 AB	63,18 A	61,33 a

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas e minúscula em negrito na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da análise de regressão, dos dados de massa de mil aquênios em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foram escolhidos os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados (Tabela 10).

Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para massa de mil aquênios, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
<u>Modelo</u>						
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ + g*X^2Z$						
Água de poço	Constante	29,7013				
	LAM	0,279388	0,102453	2,726995	0,0086	0,64
	LAM ²	-0,0005264	0,00022591	-2,33038	0,0183	
	NIT	0,228408	0,223639	1,021323	0,1629	
	NIT ²	0,0004536	0,00135787	0,334053	0,3718	
	LAM*NIT	-0,002337	0,0014964	-1,56183	0,0712	
	LAM ² *NIT	0,00000461	0,0000033	1,396041	0,0930	
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ$						
Esgoto	Constante	31,5633				
	LAM	0,189437	0,0387110	4,8936	0,0001	0,72
	LAM ²	-0,00039112	0,00007834	-4,9926	0,0001	
	NIT	0,376563	0,156353	2,4084	0,0152	
	NIT ²	-0,002762	0,0011534	-2,3946	0,0156	
	NIT*LAM	-0,00001034	0,000245925	-0,04206	0,4835	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

A Figura 7A representa a superfície de resposta da massa de mil aquênios estimada em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, do girassol irrigado com água de poço. De acordo com o modelo matemático escolhido, observa-se o incremento da massa de mil aquênios estimado com o aumento das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. A massa máxima de 65,05 g foi estimada para o tratamento L3N3 (222,48 mm e 66,87 g), a partir de então, o aumento destes fatores de produção resultaria na redução da massa de mil aquênios. Biscaro *et al.* (2008) também observaram desempenho quadrático da massa de mil sementes do girassol, cultivar H 358 da Dekalb em função do aumento das doses de nitrogênio.

Silva *et al.* (2011) observaram aumento quadrático e linear da M1000A de cultivares de girassol, Catissol 01 e Embrapa 122 V, respectivamente, em função de diferentes níveis de irrigação. Ainda segundo os autores, as maiores massas de mil aquênios foram de 73,39 g e 71,49 g e foram estimadas para 498,5 mm (140,10% da ECA) e 533,7 mm (150% da ECA) para as cultivares Catissol 01 e Embrapa 122 V-2000, respectivamente. As maiores

massas de mil aquênios e lâminas de irrigação estimadas por Silva *et al.* (2011), quando comparadas ao estimado no presente trabalho, devem-se provavelmente à variável genética.

De acordo com a superfície de resposta da M1000A, do girassol irrigado com água de reúso (Figura 7B), também foi verificado incremento da massa de mil aquênios com aumento da lâmina de irrigação e adubação nitrogenada. A maior massa máxima de mil aquênios estimada foi de 66,16 g, obtida com os tratamentos L3 e N2.

O efeito quadrático da massa de mil aquênios em função da lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, observado tanto para irrigação com água de poço como na irrigação com água de reúso, divergem de Oliveira *et al.* (2009), que, trabalhando com a cultura do feijoeiro em Mato Grosso do Sul sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, observaram efeito significativo do aumento da massa de cem sementes em função das lâminas de irrigação, contudo, o mesmo não foi observado em função das doses de nitrogênio.

Observa-se que para a massa máxima de mil aquênios estimada para o girassol irrigado com esgoto e água de poço de 66,16 g e 65,05 g obtida com os tratamentos L3N3 e L3N2, respectivamente, foram próximas mas com uma economia de 25 kg de N ha⁻¹, quando irrigada com esgoto; isto pode ser explicado provavelmente pelo nitrogênio presente no esgoto.

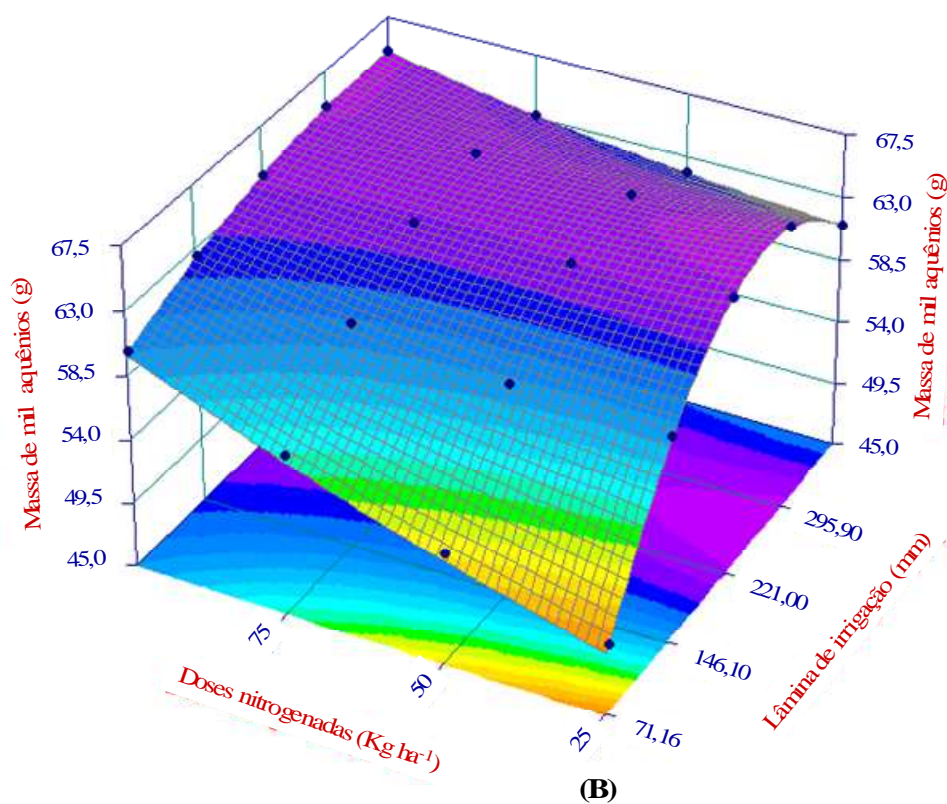
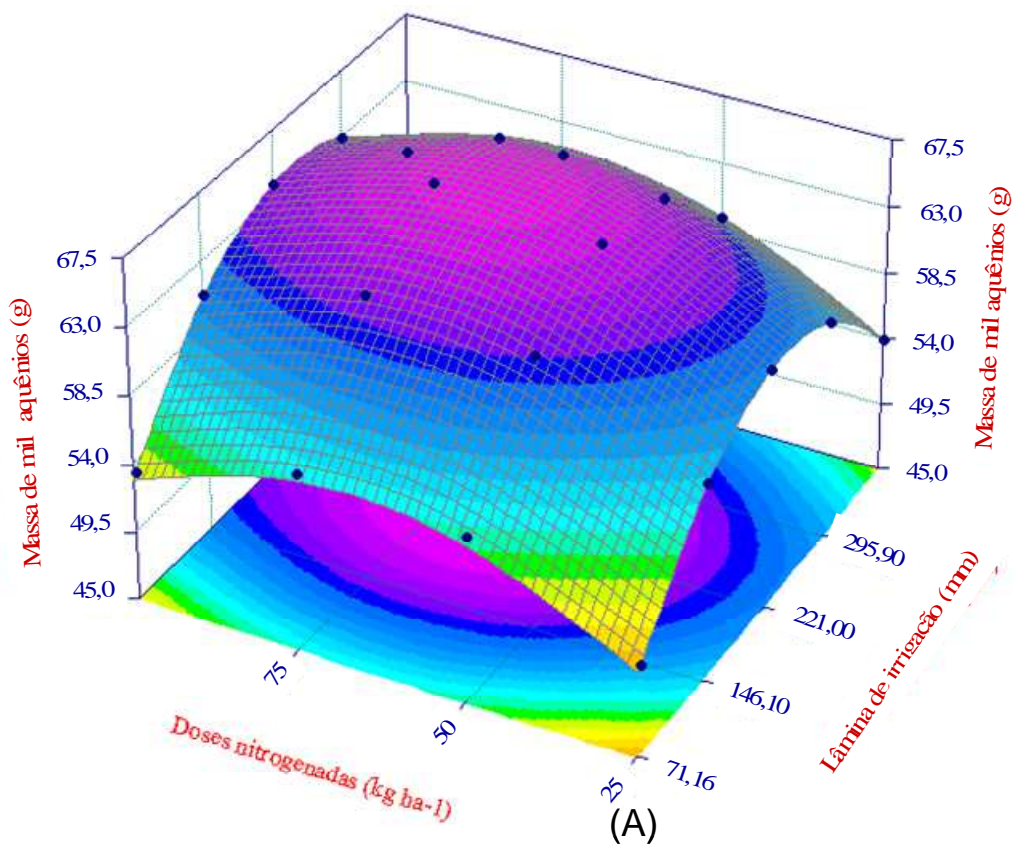


Figura 7 - Superfície de resposta da massa de mil aquênios (g) do girassol irrigado com água de poço (A) e esgoto doméstico tratado (B), sob cinco lâminas de irrigação e quatro doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.

3.4 Potencial produtivo

As maiores médias de potencial produtivo (2.987 kg ha^{-1}) foram obtidas para o esgoto doméstico tratado, diferenciando-se estatisticamente ($p < 0,01$) da média (2.798 kg ha^{-1}) obtida para água de poço freático (Tabela 11). Estes valores estão acima do estimado por Brasil (2010b), para o nordeste, de 1.720 kg ha^{-1} , previsto para safra de 2010/2011 e dos obtidos por Afférri *et al.* (2008), de 2.427 kg ha^{-1} , trabalhando com a mesma cultivar (Mutissol), sob sequeiro em Tocantins. Estas diferenças devem-se provavelmente ao uso da irrigação no presente trabalho. Pois, ainda segundo Afférri *et al.* (2008) as chuvas irregulares podem reduzir o desenvolvimento vegetativo e refletir na produção. Silva *et al.* (2011) também atribuem os bons resultados obtidos com o girassol irrigado por gotejo à boa distribuição da água durante todo o ciclo da cultura, destacando, desta forma, a importância da irrigação na produção agrícola.

Lucas Filho *et al.* (2002) também observaram maiores potenciais produtivo para o girassol irrigado com água de reúso, em comparação ao irrigado com água de abastecimento. Ainda segundo os autores, com a densidade populacional de 60.000 plantas por hectares o potencial produtivo do girassol irrigado sob água de reúso pode ser superior em até 123% ao potencial produtivo do girassol irrigado com água de poço.

Silva *et al.* (2011) também evidenciaram efeito significativo das lâminas de irrigação sob o potencial produtivo do girassol. Os valores médios do potencial produtivo obtidos no presente trabalho para água de reúso foram próximos, contudo inferiores ao valor médio obtido por Silva *et al.* (2011), de $3162,98 \text{ kg ha}^{-1}$ para a cultivar Embrapa 122 V-2000, também irrigada por gotejo. Para tanto, maiores potenciais produtivos de $4.222,76$ e $3.948,02 \text{ kg ha}^{-1}$, para as cultivares Catissol 01 e Embrapa 122 V-2000, foram superiores aos maiores potenciais produtivos observados no presente trabalho, de $3297,17$ e $3486,92 \text{ kg ha}^{-1}$, obtidos para o girassol irrigado com água de poço e esgoto, respectivamente. Esta diferença pode estar associada à diferença de cultivar. Pois, como relatado por Farias *et al.* (2000), as variações entre genótipos são intrínsecas e grandemente influenciadas pelas condições ambientais e pelo manejo adotado para o cultivo do girassol.

Com o tratamento N3 (75 kg ha^{-1} de N) foram obtidos os maiores potenciais produtivos de 3.300 e 3.239 kg ha^{-1} para água de poço e esgoto, respectivamente. Para água de poço, a média do potencial produtivo obtido com o tratamento N3 diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos, N1, N2 e N4. Já para a água de reúso, não foi

observada diferença estatística ($p < 0,05$) entre as médias obtidas nos tratamentos N3 e N4 (Tabela 11).

Houve incremento de aproximadamente 35% e 16% no potencial produtivo para água de poço e esgoto, respectivamente, quando comparados aos potenciais produtivos entre os tratamentos N3 e N1. O menor incremento registrado para água de reúso (16%) deve-se provavelmente à presença do nitrogênio na água de reúso. Desta forma, o tratamento de menor doses de tratamento N1 (25 kg ha^{-1}) foi complementado com o nitrogênio presente na água de reúso. Sobretudo, os diversos nutrientes presentes nas águas de reúso, como o fósforo, potássio e boro também podem ter exercido papel fundamental no incremento do potencial produtivo, já que são fornecidos de forma parcelada durante toda irrigação com água de reúso (Tabela 11). Guidolin (2000) ressalta sobre os minerais presentes em efluentes urbanos brutos, destacando a presença de macronutrientes, como N, P e K, bem como de micronutrientes, como As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn.

Utilizando água de reúso na irrigação e adubação nitrogenada de 25 kg ha^{-1} o potencial produtivo médio obtido foi de 2.802 kg ha^{-1} , valor próximo a 2.845 kg ha^{-1} obtido com $50 \text{ kg de N ha}^{-1}$ sob irrigação de água de poço, ou seja, o uso da água de reúso proporcionou uma economia de $25 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (Tabela 11). Desta forma, além ser possível a produção da cultura do girassol com esgoto doméstico tratado, ainda pode ser possível a substituição parcial do nitrogênio comercial.

Tabela 11 - Médias do potencial produtivo de aquênios (PP) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2010

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de nitrogênio (kg ha^{-1})				Médias	
		N1 25	N2 50	N3 75	N4 100		
Potencial produtivo de aquênio (kg ha^{-1})							
Água de poço	L1	74,16	1907,40	2301,79	2675,53	1914,93	2199,91 c
	L2	148,32	2786,42	2909,72	3320,48	2817,62	2958,56 b
	L3	222,48	3070,33	3564,88	3843,66	2464,02	3235,72 a
	L4	296,64	2850,58	3177,71	4130,34	3030,04	3297,17 a
	L5	370,80	1864,73	2270,18	2894,58	2159,27	2297,19 c
		Médias		2495,89 C	2844,85 B	3372,92 A	2477,17 C
Esgoto	L1	74,16	1784,12	2042,32	2122,04	2360,03	2077,13 d
	L2	148,32	2838,47	2641,04	3238,78	2907,61	2906,47 c
	L3	222,48	3337,14	2908,80	3410,51	3415,79	3268,06 b
	L4	296,64	3561,34	2922,94	3849,84	3613,57	3486,92 a
	L5	370,80	2489,30	3421,26	3488,72	3379,17	3194,61 b
		Médias		2802,08 B	2787,27 B	3221,98 A	3135,23 A

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas e minúscula em negrito na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nobre *et al.* (2010) concluíram que uso de efluente doméstico constitui fonte potencialmente viável ao suprimento hídrico de plantas de girassol, cv. Embrapa 122/V-2000.

A partir da análise de regressão, dos dados de massa do potencial produtivo em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foi determinado o modelo matemático que melhor se ajustasse aos dados (Tabela 12).

Tabela 12 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o potencial produtivo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010

Tipo de água	Nome	Coeficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
Modelo						
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ + g*X^2Z$						
Água de poço	Constante	-1273,66				
	LAM	0,002828	0,085553	3,30572	0,0028	0,82
	LAM ²	-0,064377	0,018864	- 3,41264	0,0023	
	NIT	0,007006	0,001867	3,75149	0,0012	
	NIT ²	-0,49788	0,111339	- 4,39093	0,0004	
	NIT*LAM	-0,095819	0,124958	- 0,76681	0,2284	
	NIT*LAM ²	0,0002543	0,000275	0,922803	0,1865	
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ$						
Esgoto	Constante	660,813				
	LAM	0,001686	0,03450	4,8878	0,0001	0,82
	LAM ²	-0,03099	0,00698	-4,4382	0,0003	
	NIT	0,067687	0,001394	0,4857	0,3173	
	NIT ²	-0,02878	0,10281	-0,2799	0,3918	
	LAM*NIT	0,011529	0,021920	0,52598	0,3036	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

Assim, como nas demais variáveis produtivas discutidas anteriormente, o aumento da disponibilidade hídrica e da adubação nitrogenada proporcionaram incremento do potencial produtivo. De acordo a superfície de resposta (Figura 8A) condicionada a partir o modelo matemático quadrático, escolhido para se estimar o potencial produtivo do girassol irrigado com água de poço, em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, pode-se observar incremento do potencial produtivo até o máximo de 3.451 kg ha⁻¹, em que foi estimado o ponto de máxima. A partir de então, o aumento destes fatores de produção proporcionaria diminuição do potencial produtivo.

O desempenho quadrático do potencial produtivo em função do aumento das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, observado no presente trabalho, também foi observado por outros autores para diversas culturas. Frizzone (1995), trabalhando com a cultura da aveia sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio, também obteve modelo estatístico polinomial quadrático para se estimar a produtividade. Barros *et al.* (2002) também

obtiveram modelo quadrático do rendimento do melão em função do aumento lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Mousinho *et al.* (2003), buscando a estimativa da função de resposta da melancia à aplicação de água e nitrogênio, também constataram incremento quadrático da produtividade em função da disponibilidade hídrica e adubação nitrogenada. O mesmo também foi observado por Silva *et al.* (2008) para o potencial produtivo da Alface Americana em função do aumento das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Embora tenham trabalhado com diferentes culturas, os referidos autores concordam que o uso eficiente de lâmina de irrigação e nitrogênio resulta no aumento de rendimento da cultura.

De acordo com a superfície de resposta da estimativa do potencial produtivo do girassol irrigado com água de poço (Figura 8A), os potenciais produtivos obtidos com 50 e 75 kg ha⁻¹ de N em função da lâmina de irrigação 222,48 mm foram próximos de 3.653,52 e 3.630,80 kg ha⁻¹, respectivamente, uma diferença de aproximadamente 0,6%. Desta forma, poderia ser adotada a menor dosagem 50 kg ha⁻¹ de N como indicada para a produção do girassol, do ponto de vista agrônomo.

O potencial produtivo estimado do girassol irrigado com esgoto em função do incremento das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, também aumentou de modo quadrático de acordo com o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados (Figura 8B). Foi observado incremento menos acentuado do potencial produtivo em função do aumento das doses de nitrogênio. Já em função das lâminas de irrigação, este aumento foi mais acentuado. De acordo com a equação matemática, o máximo potencial produtivo estimado seria de aproximadamente 3.668 kg ha⁻¹, que foi estimado para a lâmina de irrigação de 296,64 mm e doses de nitrogênio de 100 kg ha⁻¹, referente ao tratamento L4N4. Registrando, a partir de então, diminuição do potencial em função do aumento da lâmina destes fatores de produção.

De acordo com as estimativas para o girassol irrigado com esgoto, o incremento do potencial produtivo pode alcançar 92% quando comparado aos tratamentos L1N1 com L4N4. Já para o girassol irrigado com água de poço, este incremento seria de até 107%, quando comparado aos tratamentos L1N1 com L3N2. Esta menor diferença entre os potenciais produtivos máximos e mínimos estimada para o esgoto deve-se provavelmente ao nitrogênio e outros nutrientes presentes na água de reúso, como já referido anteriormente. De acordo com Chernicharo (2001), aplicação dos nutrientes contidos nos efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais. Ainda segundo o autor, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água.

Na superfície de resposta do potencial produtivo para o esgoto, entre as lâminas 222,48 e 296,46 mm foi observado aumento das distâncias entre as isoquantas, representado pela diferença das cores na superfície de resposta, em função do aumento das doses de nitrogênio, o que se deve provavelmente à nutrição da planta por meio do nitrogênio dissolvido na água.

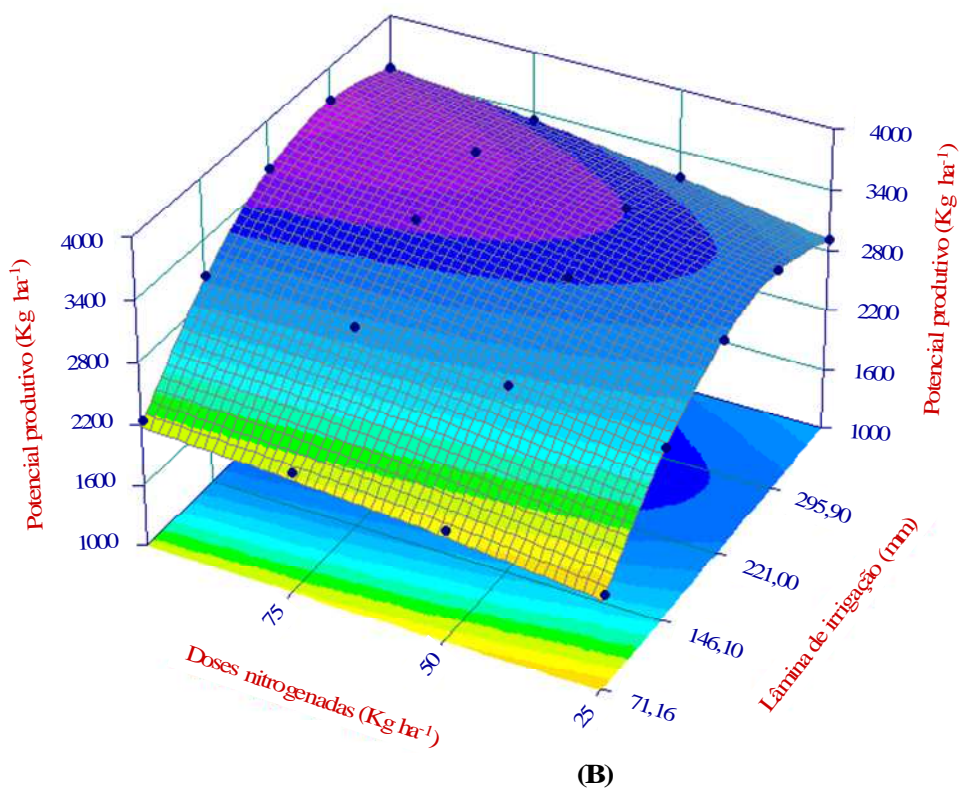
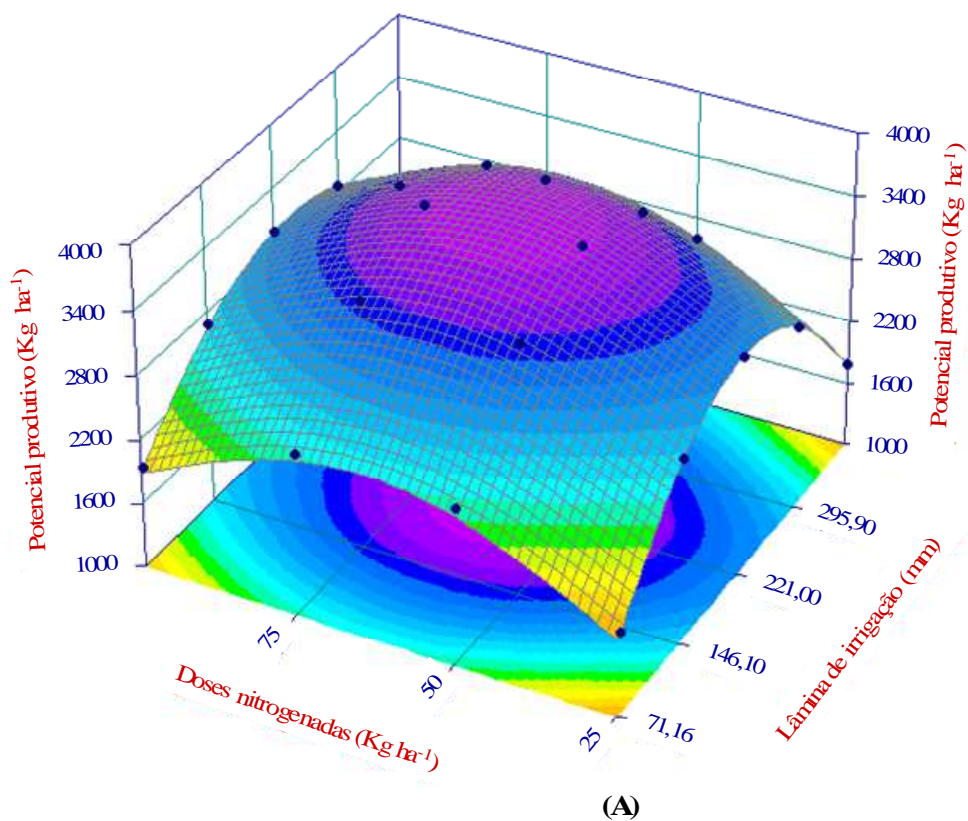


Figura 8 - Superfície de resposta do potencial produtivo (kg ha^{-1}) do girassol irrigado com água de poço freático (A) e esgoto (B) sob cinco laminas de irrigação e quatro doses nitrogenadas. Aquiraz, Ce, 2010.

3.5 Teor de óleo

Não foi observada diferença estatística do teor de óleo em função dos tratamentos, tipo de água de irrigação e lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. Corroborando com Lobo; Grassi Filho (2007), que, trabalhando substituição parcial e total do nitrogênio comercial pelo lodo de esgoto, não observaram diferenças significativas para o teor de óleo do girassol.

A não diferenciação significativa do teor de óleo em função dos níveis de irrigação diverge de Silva *et al.* (2011), ao observarem efeito significativo do teor de óleo em função das lâminas de irrigação. Ainda segundo os autores, o teor de óleo aumentou linearmente com a disponibilidade hídrica no solo; os maiores teores de óleo foram obtidos com a lâmina de 533,7 mm. Lima (2011) e Feitosa (2011) também não observaram efeito significativo do teor de óleo em função dos níveis de irrigação. Contudo, os teores médios de óleo de 43,49% e 42,1%, ao serem observados pelos respectivos autores, foram superiores aos observados no presente trabalho, de 33,98% e 33,69% para o girassol irrigado com água de poço e esgoto, respectivamente.

Corroborando com o presente trabalho, Carvalho; Pissaia (2002), trabalhando com a cultura do girassol (híbrido M734) sob seis doses de nitrogênio (0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg ha⁻¹) em plantio direto, no Paraná, também não observaram efeito significativo do teor de óleo em função das doses de nitrogênio. Ainda segundo os autores, a média de óleo foi de aproximadamente 41,68 %.

O menor teor de óleo observado no presente trabalho, quando comparados aos obtidos por Lima (2011), Feitosa (2011) e Carvalho; Pissaia (2002), pode estar relacionado à variável genética, já que, Lima (2011), Feitosa (2011) trabalharam com a Catissol 01 e Carvalho; Pissaia (2002) avaliou o híbrido M734, enquanto no presente trabalho utilizou-se a variedade Muitissol. Segundo as características apresentadas pela CATI, a Muitissol se destaca quanto à rusticidade, o que pode ter influenciado no menor teor de óleo das sementes.

Outro fator que pode ter influenciado no teor de óleo pode ter sido a falta de polinização de insetos, já que a área experimental se encontrava próximo a uma estrada de intenso trânsito de caminhões. Aytekin; Çagatay (2008) observaram aumento significativo do teor de óleo em sementes de girassol da polinização com abelhas *A. mellifera* em relação às não polinizadas. Camacho; Franke (2008) enfatizam que embora os fatores ambientais e fisiológicos interfiram diretamente na qualidade fisiológica das sementes, os insetos podem

influenciar indiretamente nesses fatores e proporcionar semente de melhor qualidade, com maior vigor e óleo.

3.6 Potência Produtivo de óleo

Embora não tenha sido observado no presente trabalho diferença estatística ($p < 0,05$) para o teor de óleo do girassol, o mesmo não foi constatado para o potencial produtivo de óleo (PPO), já que esta variável de produção é determinada em função do teor de óleo e potencial produtivo de grão (Tabela 13).

As médias de $953,67 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1.010,04 \text{ kg ha}^{-1}$ para o PPO, obtidas no presente trabalho, foram superiores às observadas por Grunvald *et al.* (2008), que, avaliando a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol, no Brasil Central, quanto ao rendimento de grãos e de óleo, relataram que a produção média de óleo do girassol cultivar Multissol é de aproximadamente 731 kg ha^{-1} . Não foi observada diferença estatística do potencial produtivo de óleo dos dois tipos de água de irrigação. Contudo, o uso de esgoto doméstico proporcionou maior média de PPO, superior em aproximadamente 56 kg ha^{-1} de óleo (Tabela 13).

A diferenciação estatística do PPO em função das lâminas de irrigação, constatada no presente trabalho, estão condizentes com Silva *et al.* (2011), Feitosa (2011) e Lima (2011), que também observaram diferença significativa para o PPO em função das lâminas de irrigação. Para o girassol irrigado com água de poço, o maior potencial produtivo de óleo foi de $1.087,40 \text{ kg ha}^{-1}$ com o tratamento $L3 = 222,48 \text{ mm}$. Contudo, não foi observada diferença estatística do PPO entre os tratamentos $L2$, $L3$ e $L4$. Quanto ao girassol irrigado com esgoto doméstico, o maior PPO de $1.184,15 \text{ kg ha}^{-1}$ foi obtido com o tratamento $L4 = 296,64 \text{ mm}$, que também não diferiu estatisticamente do PPO de $1.135,02 \text{ kg ha}^{-1}$ obtido com o tratamento $L3 = 222,48$.

Os menores PPO foram obtidos com o tratamento $L1 = 74,16 \text{ mm}$, menor lâmina de irrigação. Para Lima (2011), este menor desempenho pode ser justificado pela redução da área foliar da cultura e, por consequência, a diminuição da fotossíntese e acúmulo de fotoassimilados durante o ciclo da cultura decorrente do estresse hídrico.

Na Tabela 13 pode ser observada a maior influência das doses de nitrogênio para água de poço freático, em que se registrou a diferença de aproximadamente 39% entre o

maior e o menor PPO obtido com os tratamentos N3 de 1.173,52 kg ha⁻¹ e N1 de 843,64 kg ha⁻¹, respectivamente. Já para água de reúso, foi registrado um incremento menos acentuado de aproximadamente 16%, quando comparados os limites máximos e mínimos de PPO obtidos com os tratamentos N2 de 933,69 52 kg ha⁻¹ e N3 de 1084,53 52 kg ha⁻¹, reforçando a prerrogativa de que o nitrogênio presente no esgoto doméstico proporciona o aumento da produção da cultura. Além de uma produção mais estável, pode-se observar os valores próximos do PPO para água de poço e esgoto com os tratamentos N2 de 978,97 kg ha⁻¹ e N1 de 982,45 kg ha⁻¹, respectivamente. Com este resultado subtende-se que o uso do esgoto doméstico tratado na irrigação poderia proporcionar uma economia de 25 kg de N ha⁻¹.

O decréscimo do PPO com as doses máximas de N pode estar relacionado ao aumento das proteínas acumuladas nos aquênios. Pois, segundo Zagonel; Mundstock (1991), como o nitrogênio é constituinte das proteínas depositadas nos aquênio, logo interage negativamente com a deposição de óleo, então doses elevadas de nitrogênio podem diminuir o teor de óleo nos aquênios.

Tabela 13 - Médias do potencial produtivo de óleo (PPO) em função de dois tipos de água para irrigação (A), lâminas de água (L) e Níveis de irrigação (N). Aquiraz, CE, 2010

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Médias	
		N1 25	N2 50	N3 75	N4 100		
Potencial produtivo de óleo (kg ha ⁻¹)							
Água de poço	L1	74,16	633,91	797,62	865,13	596,90	723,39 b
	L2	148,32	981,72	997,91	1166,97	946,58	1023,30 a
	L3	222,48	1026,36	1200,32	1326,61	796,31	1087,40 a
	L4	296,64	948,26	1104,56	1418,50	1011,53	1120,71 a
	L5	370,80	627,95	794,42	1090,38	741,50	813,56 b
	Médias		843,64 C	978,97 B	1173,52 A	818,56 C	953,67 a
Esgoto	L1	74,16	598,99	660,01	681,25	733,12	668,34 d
	L2	148,32	1030,68	889,13	112993	922,41	993,04 c
	L3	222,48	1201,88	932,40	1223,45	1182,34	1135,02 a
	L4	296,64	1235,46	976,58	1269,00	1255,56	1184,15 a
	L5	370,80	845,23	1210,32	1119,03	1103,96	1069,64 bc
	Médias		982,45 BC	933,69 C	1084,53 A	1039,48 AB	1010,04 a

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas e minúscula em negrito na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da análise de regressão, dos dados de massa de mil aquênios em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foram escolhidos os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados (Tabela 14).

Tabela 14 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o potencial produtivo de óleo, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2010

Tipo de água	Nome	Coeficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
Modelo $Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ$						
Água de poço	Constante	-259,753				
	LAM	6,96193	1,37447	5,0651	0,0001	0,81
	LAM2	-0,0161684	0,00278148	-5,8129	0,0000	
	NIT	22,8306	5,55172	4,1123	0,0005	
	NIT2	-0,196111	0,0409556	-4,7883	0,0001	
	NIT*LAM	0,00971073	0,00873201	1,1120	0,1424	
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*XZ$						
Esgoto	Constante	217,765				
	LAM	6,62948	1,39905	4,7385	0,0001	0,77
	LAM ²	-0,0126145	0,00283121	-4,4554	0,0002	
	NIT	0,136546	2,18614	0,0624	0,4755	
	LAM*NIT	0,00517424	0,00888814	0,5821	0,2846	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

O modelo matemático quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados do PPO para o girassol irrigado com água de poço freático, coeficiente de determinação de 0,81. De acordo com a equação foi, confeccionado o gráfico de superfície de resposta, em que, foi possível se estimar o máximo PPO de aproximadamente 1.207 kg ha⁻¹, obtido com os tratamentos L4N3 (296,64 mm e 75 kg de N ha⁻¹) (Figura 9A).

Feitosa (2011), trabalhando com a cultura do girassol sob diferentes lâminas de irrigação e doses de adubação potássica, também observou efeito quadrático do PPO com aumento da disponibilidade hídrica e adubação potássica fixa em 15 kg de K₂O ha⁻¹. Contudo o maior PPO estimado pelo referido autor foi de 920,2 kg ha⁻¹ com os tratamentos L5K3 (534 mm e 60 kg K₂O ha⁻¹). Sendo este valor inferior ao observado no presente trabalho. Reforçando a importância do nitrogênio para a determinação da produtividade da cultura. Para Blanmey *et al.* (1997), o nitrogênio é o nutriente que mais limita a produção do girassol. Smiderle *et al.* (2003) complementam afirmando que a deficiência de nitrogênio na cultura pode proporcionar redução de até 60% na produtividade.

O maior PPO estimado para o girassol irrigado com esgoto doméstico tratado foi de aproximadamente 1.241 kg ha⁻¹ obtido com o tratamento L4N4 (296,64 mm e 100 kg de N ha⁻¹) (Figura 9B). Contudo, fixado o tratamento de lâminas de irrigação em L4 = 296,63 mm e reduzindo as doses de nitrogênio de 100 para 25 kg ha⁻¹, estima-se redução de apenas 10% do PPO, porém uma redução bastante significativa da adubação nitrogenada de 75 kg ha⁻¹.

Comparando o PPO de 1.116 kg ha⁻¹, estimado para o girassol irrigado com esgoto sob o tratamento L4N1, com o máximo obtido para o girassol irrigado com água de poço L4N3 de 1.207 kg ha⁻¹, pode-se observar redução de PPO em apenas 7,5%, porém mitigação de 50 kg ha⁻¹ de N. Desta forma, entende-se que a água de reúso pode proporcionar redução de fertilizante nitrogenado comercial, se manejado corretamente. Para Silva *et al.* (2010), a adubação mineral pode ser substituída pelo lodo de esgoto para a produção de girassol sem que haja perdas na qualidade física e na produtividade.

Na superfície de resposta do PPO para água de reúso (Figura 9B), pode-se observar maior estabilidade do PPO com a variação dos componentes de produção (água e nitrogênio); a maior variação do PPO, foi constatada em função da disponibilidade hídrica com o observado para o aumento das doses de nitrogênio. Nobre *et al.* (2010), trabalhando com água de reúso, observaram incremento das variáveis de produção do girassol com o aumento das lâminas de irrigação.

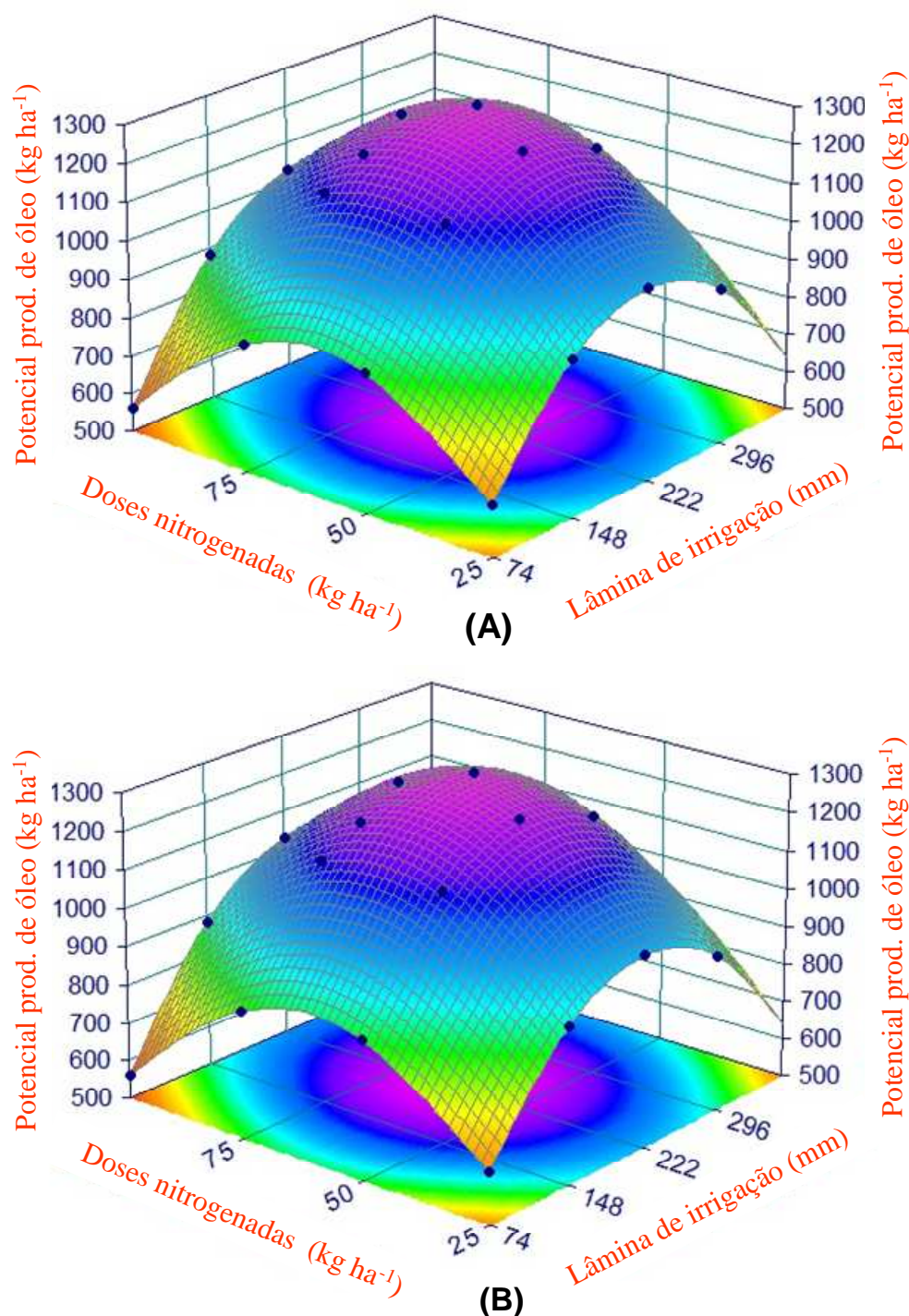


Figura 9 - Superfície de resposta do potencial produtivo de óleo (kg ha⁻¹) do girassol irrigado com água de poço freático (A) e esgoto doméstico tratado (B) em função de cinco lamina de irrigação e quatro doses nitrogenadas. Aquiraz, CE, 2010.

De acordo com especificações do grau de restrição da água de irrigação de Ayers; Westcot (1985) e dos atributos químicos do esgoto doméstico tratado utilizada no presente trabalho ($CE = 0,727 \text{ dS m}^{-1}$ e $RAS = 7,21$), o uso desta água para irrigação é classificada

como risco moderado, C2S1. Contudo, considerando a textura do solo como franco arenosa sem problemas de drenagem e a precipitação da região acima de 1500 mm, a água de reúso pode ser utilizada para a produção do girassol. Corroborando com Qadir; Oster (2004), ao afirmarem que a salinização ou a sodificação do solo pelo uso dos esgotos domésticos tratados da irrigação normalmente não acontece já que normalmente estas condutividades elétricas são menores que 1 dS m^{-1} . Além disso, as próprias precipitações pluviométricas, em solos bem drenados, proporcionariam a diluição e lixiviação do sódio acumulado no solo pelo uso de água de reúso. Diante do exposto, esta fonte de água deve ser incentivada para a irrigação do girassol.

4 CONCLUSÕES

Levando em consideração as boas características agronômicas obtidas para a cultura, a água de reúso pode ser utilizada para a produção do girassol.

O reúso de água deve ser utilizado na produção do girassol como uma estratégia hídrica, como fonte alternativa e para redução da adubação nitrogenada.

O uso do esgoto doméstico tratado pode substituir em até 50 kg de N ha⁻¹.

Com a finalidade de se produzir a cultura do girassol para produção de biocombustível, em que se visa à maior produtividade de óleo por hectare, sem se esquecer do meio ambiente, recomenda-se então o uso do esgoto doméstico com a lâmina de irrigação referente a 100% da ECA (296,64 mm), considerando a precipitação pluviométrica de 137 mm bem distribuídas durante o ciclo da cultura e adubação nitrogenada de 25 kg ha⁻¹.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi, RN**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

AFFÉRI, F. S. *et al.* Avaliação de cultivares de girassol, em diferentes épocas de semeadura, no sul do estado do Tocantins, safra 2005/2006. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 4, p. 79-87, jul./dez. 2008.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. **Water Quality for Agriculture**. Food and agriculture. Organization of the United Nations, Irrigation And Drainage and Paper. Number 29. 1985.

AYTEKIN, A. M.; ÇAGATAY, N. Observations on the pollination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Mellifera**, v. 8, n. 14, p. 2-7, 2008.

BARROS V. S.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. Função de produção da cultura do melão para níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu - CE. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 2, p. 98-105, 2002.

BISCARO, G. A. *et al.* Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Revista Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1366-1373, set./out., 2008.

BLAMEY, F. P. C. *et al.* Sunflower production and culture. *In*: SEITEER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. v. 1, Cap. 5, p. 595-670.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: 1992, 356p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. **Girassol**. Brasília, 2010a. Disponível em:< http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_11_16_13_07_58_apresentacaogirassol.pdf> Acesso em: 07 abril 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores agropecuários**. Brasília, 2010b. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_20_11_43_51_ia_nov10.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2011).

CAMACHO, J. C. B.; FRANKE, B. L. Efeito da polinização sobre a produção e qualidade de sementes de *Adesmia latifolia*. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, 2008.

CARVALHO, D. B.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: I - rendimento de grãos e seus componentes, índice de colheita e teor de óleo. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 3, n. 1/2, p. 41-45, 2002.

CHAMBÓ, E. D. **Polinização em genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2010.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 544 p.

CHRISTOFIDIS, D. **Olhares sobre a política de recursos hídricos no Brasil: o caso da bacia do Rio São Francisco**. 2001. 432 f. Tese (Doutorado em Gestão Ambiental) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FARIAS NETO, A. L. *et al.* Avaliação de variedades de girassol nos Cerrados do Distrito Federal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 273, n. 47, p. 469-482, 2000.

FEITOSA, D. R. C. **Comportamento do girassol no Vale do Curu, Ceará, sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio**. 2011. 72 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FRIZZONE, J. A. Lâminas de água e doses de nitrogênio na produção de aveia (*Avena sativa* L.) para forragem. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 578-586, 1995.

GARCIA, F. C. H.; BEZERRA, F. M. L.; FREITAS, C. A. S. Níveis de irrigação no comportamento produtivo do mamoeiro Formosa na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 136-141, 2007.

GAVIRAGHI, J. *et al.* **Desempenho industrial de genótipos de girassol para inferência às condições locais da região noroeste do RS**. In: XIX Congresso de

Iniciação Científica, XII Encontro de Pós-graduação, II Amostras científica. 2010.

GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. Influência da suplementação hídrica na altura de planta, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 3.; REUNIÃO NACIONAL DA CULTURA DO GIRASSOL, 15., 2003, Ribeirão Preto. 1. Anais...* Ribeirão Preto: CATI, 2003. CD-ROM.

GRUNVALDI, A. K. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol no Brasil. *Central. Pesq. Agropec. Bras.*, v. 43, n. 11, 2008.

GUIDOLIN, J. C. **Reúso de efluentes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000.

HUSSAR, G. J. *et al.* **Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação da beterraba**. Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 035-045, 2005, 11p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988.

LIMA, A. D. **Interação entre lâminas de irrigação e coberturas do solo, e adubação borácica na cultura do girassol**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. *Revista Ciencia del Suelo e Nutrición Vegetal*, v. 7, n. 3, p.16-25, 2007.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA: POTAFOS, 1989.

LUCAS FILHO, M. *et al.* **Águas residuárias – alternativa de reúso na cultura de girassol (*helianthus annuus*)**. *In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 2002, Vitória, ES. Anais...* Vitória, ES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

MELI, S; *et al.* A influence of irrigation with lagoon urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. *Science of the Total Environment*, Michigan, v. 285, p. 69-77, 2002.

MOUSINHO, F. E. P. *et al.* Função de resposta da melancia à aplicação de água e

nitrogênio para as condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 264-272, 2003.

NBR 13348. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Banho residual e efluente líquido: determinação do teor de óleos e graxas**. 1995.

NOBRE, R. G. *et al.* Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

OLIVEIRA, G. Q. *et al.* Irrigação e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno, em sistema de plantio direto, no município de Aquidauana-MS. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p.54-67, 2009.

QADIR, M.; OSTER, J. D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils waters aimed at environmentally sustainable agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 323, p. 1-19, 2004.

RAMOS, J. M. O. Uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 6, n. 10, p. 1-20, 2007.

SANTOS, M. S. *et al.* Produção de gergelim sob irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, p. 31-35, 2010.

SANZONOWICZ, C.; AMABILE, R. F. **Adubação nitrogenada do girassol, no período chuvoso e na safrinha na Região do Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA, 2001.

SILVA, A. R. A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 57-64, 2011.

SILVA, H. P. *et al.* Qualidade física de sementes de girassol produzido sob doses de lodo de esgoto. **Revista Verde**, v. 5, n. 1, 2010.

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVA, P. A. M. *et al.* Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.

SMIDERLE, O. J. *et al.* Adubação nitrogenada, espaçamento e épocas de semeadura de girassol nos Cerrados de Roraima. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja**. [S.l.]: EMBRAPA, 2003. p. 33-39.

SOUZA, R. M. *et al.* Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C. M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1487-1492, 1991.

CAPÍTULO 4

Análise energética do girassol irrigado com esgoto doméstico tratado para produção de biodiesel

RESUMO

Na busca por fontes energéticas mais sustentáveis, têm-se investido em fontes renováveis como o biodiesel, que reduzem a emissão dos gases precursores do efeito estufa. Contudo, para a certificação da viabilização sustentável do biodiesel, faz-se necessário propiciar o balanço energético positivo, com a redução dos insumos agrícolas e aumento da produtividade. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação, bem como sua eficiência na substituição do fertilizante nitrogenado comercial na produção do girassol. Os dados deste trabalho foram obtidos do experimento conduzido no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, em Aquiraz, CE, 2009-2010. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação; nas subparcelas foram distribuídas cinco lâminas de irrigação, 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 da evaporação do tanque classe A (ECA). Nas subsubparcelas, avaliou-se o efeito de quatro doses de adubação nitrogenada 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹. Não foi constatada diferença significativa das variáveis avaliadas: Potencial produtivo de biocombustível (PPB); dispêndio energético (DISP); Saída de energia (SAID) e balanço energético (BAL) em função do tipo de água. O balanço energético mais positivo de 1:1,30 e 1:1,36 foi obtido com lâmina de irrigação de 222,48 mm e doses de nitrogênio de 50 e 25 kg ha⁻¹, irrigados com água de poço e esgoto, respectivamente.

Palavras-chave: reúso de água, balanço de energia, girassol

Energy analysis of irrigated sunflower with treated domestic sewage to produce biodiesel

ABSTRAT

In the search for more sustainable energy sources, it has been invested in renewable energy sources like the biodiesel, which reduces the emission of the greenhouse effects gas precursors. However, for certification of sustainable biodiesel feasibility is necessary to promote the positive energy balance with a reduction of agricultural inputs and increased of the productivity. Then, this study evaluated the influence of the use of treated domestic sewage for irrigation and the efficiency in replacing the commercial nitrogen fertilizer in the production of sunflower. The data was obtained from the experiment conducted at the Research Center on Wastewater Treatment and Reuse in Aquiraz, CE, 2009-2010. The statistical design used was randomized blocks, in split split plot with four replications. In the plots was evaluated the effect of two types of irrigation water and the subplots were assigned five irrigation levels based on percentages of evaporation of class "A" PAN, which corresponded to the multiplication of ECA by factors 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25 and in subsubplots, was evaluated the effect of four nitrogen doses fertilization 25, 50, 75 and 100 kg ha⁻¹. No significant difference was found about variables: potential for biofuel production (PPB), energy expenditure (DISP), energy output (SAID) and energy balance (BAL) according to the type of water. The most positive energy balance of 1.30 and 1.36 was obtained with an irrigation level of 222.48 mm and nitrogen doses of 50 and 25 kg ha⁻¹, irrigated with well water and sewage water, respectively.

Keywords: reuse water, energy balance, sunflower

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa de grande expressão na produção de óleos vegetais, pois responde por cerca de 9,3% de todo óleo vegetal produzido no mundo e apresenta um bom índice de crescimento em produção e área plantada (Estados Unidos, 2003).

Diante da pressão da sociedade civil, preocupada com as recentes catástrofes ambientais, inundações e secas ligadas ao efeito estufa, tem-se investido em pesquisas para a busca de energias renováveis. O biodiesel é uma fonte energética alternativa considerada mais limpa, quando comparada aos combustíveis derivados do Petróleo. De acordo com o Programa Nacional de Biodiesel, a Petrobrás desde 2008 vem adicionando 2% de biodiesel ao diesel de petróleo. A partir de 2013 esta adição deverá ser de 13%, podendo haver redução nestes prazos. Para atingir os percentuais supracitados, estima-se que será necessário o plantio de 1,5 milhões de hectares com o emprego de aproximadamente 600 mil famílias, o que provocará grandes benefícios sociais (HOLANDA, 2004).

O girassol apresenta características desejáveis do ponto de vista agrônomo, como ciclo curto, e alta qualidade e quantidade de óleo produzido, tornando-se uma boa e nova opção de renda aos produtores brasileiros; esta possibilidade deverá ser aumentada com a recente decisão do governo Federal em se utilizar o biodiesel na matriz energética nacional. Para tanto, deve-se questionar a viabilidade energética do biocombustível. Pimentel; Patzek (2005) observaram balanço energético negativo em 1467 kcal para a produção de um litro de etanol de milho nos Estados Unidos. Ainda segundo os autores, são necessários aproximadamente 6597 kcal de energia fóssil para produzir um litro de etanol de milho, enquanto um litro de etanol de milho tem o valor energético de 5.130 kcal.

Oliveira; Freitas; Fredo (2008) avaliando a eficiência energética de oleaginosas em São Paulo, observaram balanço energético positivo de 2,9 para a cultura do girassol. Ainda segundo os autores, o dispêndio para se produzir um hectare de girassol é de aproximadamente 2.986.873,7 Kcal, enquanto que a receita é de 11.733.550,0 Kcal.

O balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica de um programa de bioenergia. Para ser positivo, o balanço energético depende de diversos fatores, em especial do rendimento da cultura e do menor consumo de fertilizantes nitrogenados, que demanda grande quantidade de energia para sua produção. Para Soares *et al.* (2008), na produção agrícola do girassol há um consumo de aproximadamente 60% da

energia contida no biodiesel e só a adubação nitrogenada de 40 kg ha⁻¹ pode representar 22% deste gasto. Assim, entre os desafios da pesquisa agropecuária estão aumentar a produtividade da cultura e o teor de óleo do grão, bem como a utilização da adubação verde e fixação simbiótica como fonte de N (GAZZONI *et al.*, 2005).

Segundo Oliveira *et al.*, (2005a), o girassol pode desempenhar um importante papel na ciclagem de nutrientes, principalmente dos fertilizantes aplicados nas culturas anteriores, possibilitando um menor gasto para a aquisição dos mesmos. O uso do esgoto doméstico para irrigação das culturas destinadas à produção de biocombustível, em especial o girassol, é uma estratégia para se reduzir o uso da adubação nitrogenada comercial, uma maneira de favorecer o balanço de energia positivo.

É de bom senso entre pesquisadores que o manejo da irrigação deve ser feito de forma tecnicizada e precisa, sem que haja déficit nem excesso de água no solo, de modo que a planta possa expressar o máximo de seu potencial genético (BILIBIO *et al.*, 2010; AZEVEDO; BEZERRA, 2008). Em pesquisas realizadas por Silva *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2011) tem-se verificado efeito positivo da irrigação sobre o potencial produtivo do girassol. Contudo, o uso excessivo de água de irrigação além de afetar negativamente a produtividade da cultura, resulta em mais gastos de energia com o bombeamento da água e desgastes precoces do sistema de irrigação, o que poderia influenciar de forma negativa o balanço de energia do biodiesel do girassol.

As melhores produtividades do girassol estão associadas à irrigação e adubação adequada (UNGARO, 1990). Desta forma, o fornecimento de água de nitrogênio em quantidades ideais pode ser uma estratégia para se obter um balanço de energia mais positivo. Para viabilizar a alternativa energética renovável é indispensável o estudo do balanço energético, de modo que a energia final obtida com o biocombustível seja superior ao gasto de toda a cadeia de produção, industrialização e logística, ou seja, o balanço energético deve ser sustentável. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o balanço energético do girassol sob dois tipos de água de irrigação, cinco lâminas de irrigação e quatro doses de adubação nitrogenada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados do presente trabalho foram obtidos das pesquisas realizadas em 2009/1010 com a cultura do girassol, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, da Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE) e Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza.

Na presente pesquisa foi adotada a variação das lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada com intuito de maximizar o potencial energético e o balanço energético. Para isso, foi empregado delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas (splitsplit-plot).

O experimento foi constituído de quatro blocos, cada um dos quais medindo 6,00 m de largura por 36,00 de comprimento. Em cada bloco foram distribuídas aleatoriamente as duas parcelas de 6,00 m de largura por 12,00 m de comprimento. As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AP; esgoto doméstico tratado - E).

As subparcelas eram constituídas de quatro linhas de plantas de 6,00 m de comprimento, sendo as duas linhas externas consideradas como bordaduras, de modo a evitar influência entre os tratamentos, e as duas internas com linhas úteis. Nas subparcelas avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe "A" (ECA): L1, lâmina de irrigação referente a 25% da ECA; L2, lâmina de irrigação referente a 50% da ECA; L3, lâmina de irrigação referente a 75% da ECA; L4, lâmina de irrigação referente a 100% da ECA e L5, lâmina de irrigação referente a 125%.

As subsubparcelas continham aproximadamente 30 plantas distribuídas em quatro linhas de 1,50 m. O espaçamento da cultura foi de 0,20 x 0,90 m. Foram testadas quatro doses de adubação nitrogenada: N1, 25 kg de N ha⁻¹; N2, 50 kg de N ha⁻¹; N3, 75 kg de N ha⁻¹ e N4, 100 kg de N ha⁻¹, utilizando como fonte a Uréia (45% de N). Sendo que 40% das doses foram aplicadas aos 15 dias após a emergência (DAE) e o restante aos 30 DAE.

Para avaliar a viabilidade do biodiesel de girassol, determinou-se o balanço energético, o qual estabelece a relação entre o total de energia contida no biodiesel (SAIDA) e o total de energia investida em todo o processo de produção (ENTRADA ou DISPÊNDIO), incluindo-se as etapas agrícola e industrial.

Diante da complexidade de se determinar a energia consumida em todo o processo de produção agrícola como: desde a fabricação de máquinas e implementos; produção de

insumos; plantio; manejo e a colheita; transporte do produto agrícola ao local de processamento e consumo de combustível nas operações agrícolas. Desta forma, têm-se utilizado no Brasil valores médios tabelados dos gastos de energia, resultado de pesquisas de diversos autores. Com isso, para alguns fatores, utilizou-se valores tabelados de estudos anteriores para cada unidade do insumo empregado na produção.

Foram considerados dois tipos de dispêndio energético: os fixos e os variáveis. Os gastos de energia fixos foram considerados aqueles comuns a todos os tratamentos, como preparo da área, mão de obra para montagem do sistema de irrigação, abertura das covas, adubação e plantio do girassol, capinas, colheita e transporte. Já os gastos variáveis foram calculados em função dos tratamentos com o tipo de água utilizado na irrigação, a quantidade da adubação nitrogenada utilizada e a lâmina de irrigação aplicada. Desta forma, o consumo de energia durante a produção agrícola do girassol foi determinada de acordo com a equação 1:

$$D_p = D_{cf} + D_{cv} \quad (1)$$

Em que,

D_p – Dispêndio energético na produção agrícola (MJ ha^{-1});

D_{cf} - Dispêndio energético comum a todos os tratamentos (MJ ha^{-1});

D_{cv} – Dispêndio energético variável de acordo com o tratamento (MJ ha^{-1})

(Equação 2).

$$D_{cv} = A_i + DL + DN \quad (2)$$

Em que,

A_i – Dispêndio energético para se obter a água de irrigação; neste caso, foram computados o dispêndio energético com o tratamento do esgoto ou com o sistema motobomba (5 cv) para captação de água no poço freático, já que para esta fonte hídrica utilizaram-se duas motobombas; uma para captação e outra para irrigação (MJ ha^{-1});

DL – Dispêndio energético com o bombeamento (sistema motobomba 5 cv) referente ao tempo de irrigação, de acordo com o tratamento $L_1 = 8,90$ h; $L_2 = 17,80$ h; $L_3 = 26,70$ h; $L_4 = 35,60$ h e $L_5 = 44,50$ h (MJ ha^{-1});

DN – Dispêndio energético devido à adubação nitrogenada em função dos tratamentos $N_1 = 25$ kg ha^{-1} N; $N_2 = 50$ kg ha^{-1} N; $N_3 = 75$ kg ha^{-1} N e $N_4 = 100$ kg ha^{-1} N (MJ ha^{-1}).

2.1 Componentes energéticos

2.1.1 Estação de tratamento de Esgoto ETE

Foram estimados os dispêndios energéticos para construção do sistema de tratamento de esgoto ETE de Aquiraz, utilizando o projeto das lagoas de competência da VBA Consultores S/c LTDA. As dimensões das lagoas estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, CE

Lagoa	Profundidade (m)	Dimensões do fundo (m)
Anaeróbia	3,00	86,70 x 40,70
Facultativa	1,50	192,70 x 95,50
Maturação	1,50	154,00 x 72,00
Maturação	1,50	153,70 x 71,70

A composição energética das lagoas de estabilização (Tabela 2) foi estimada a partir dos materiais e operações utilizados para construção do sistema de tratamento. Foi adotada vida útil das lagoas de estabilização de 30 anos.

Tabela 2 - Componentes de entradas energéticas estimadas para a construção da estação de tratamento de esgoto ETE de Aquiraz

Pré-tratamento	Unid.	Quant.	Disp. Energ. (MJ)
Limpeza manual	m ²	324,00	8,69
Escavação de vala manual, até 1,5 m	m ³	85,11	1952,77
Aterro de vala manual	m ³	59,38	1362,42
Aterro e comp. Mec.	m ³	264,79	8299,12
Concreto usinado	m ³	5,60	637,40
Concreto armado	m ³	15,80	39700,01
Argamassa 1:3	m ³	46,44	87,63
Pintura a base de cal, 3 demãos	m ²	37,34	129,72
Alvenaria de tijolo maciço	m ²	34,77	1050,05
Piso de cimento liso, E = 0,02 m	m ³	1,35	0,10
Reboco de cimento e areia grossa traço 1:3	m ²	24,34	45,43
Dispêndio energético Sub-total			53273,36
Lagoas (Anaerobia, Facul., Mat. 1 e Mat. 2)			
Escavação manual, até 1,5 m	m ³	301,05	3872,32
Limpeza manual	m ²	180236,36	4834,66
Bota-fora, DMT 5 km	m ³	5142,18	984465,08
Aterro e comp. Mec.	m ³	168452,30	
Moto niveladora 95 kw	h	842,26	768869,36
Caminhão irrigante 97 kw	h	1684,52	1741361,77
Trator de pneus 59 kw (MF 3060)	h	1684,52	927718,94
Pé-de-carneiro 75-97 kw	h	842,26	969150,22
Grade de disco	h	1684,52	63079,49
Rolo compactador de pneus 92 - 108 kw	h	842,26	798432,23
Servente	h	2526,78	12103,30
Escavação, carga, transporte e espalhamento de 200 a 100 m	m ³	16558,00	
Trator de esteira 140 Hp PD 140	h	331,16	366354,76
Pá carregadeira sobre pneus 170 Hp	h	331,16	361786,63
Cminhão Basculante	h	993,48	1027001,76
Manta asfáltica 3 mm*	m ²	8389,00	427839,00
Concreto armado	m ³	56,36	141613,46
Argamassa	m ³	0,83	1,56
Tubos PVC, J.E DN 200 mm	m	347,42	354368,40
Tubos PVC, J.E DN 300 mm	m	226,18	493977,12
Dispedio energético Sub-total			9446830,05
Dispedio energético total			9500103,41

* - Tavares (2006)

Para estimar as máquinas e o tempo de operações destas envolvidas nas atividades de aterro e compactação mecânica; bota fora 5 km e escavação, carga, transporte e espalhamento de 200 a 100 m, utilizou-se a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos - TCPO 10. A TCPO 10 também foi consultada para determinar o material e o tempo de operação da escavação, aterro e limpeza manual, pintura, argamassa, concreto armado, concreto usinado, argamassa, alvenaria e reboco.

Para cálculo do dispêndio de energia com mão-de-obra, foi contabilizada a carga horária em cada operação, segundo TCPO 10 e multiplicando-se pelo coeficiente energético de 4,39 MJ hora⁻¹ homem⁻¹ adotado por Pimentel, (1980) e Souza *et al.* (2009).

De acordo com o dispêndio total de energia estimada para construção das lagoas de 493,977 GJ, vida útil das lagoas 30 anos e vazão de efluente estimada para 2011 de aproximadamente $60,44 \text{ L s}^{-1}$, foi determinado o dispêndio energético relativo a 1 litro de esgoto doméstico tratado de $0,000166 \text{ MJ L}^{-1}$.

2.1.2 Dispêndio considerado fixo para o preparo da área, plantio, condução da cultura e colheita do Girassol:

2.1.2.1 Trabalho humano

Para a estimativa do dispêndio energético com a mão de obra, para todas as etapas do cultivo do girassol, pré-semeadura, semeadura, manejo, colheita e transporte, foi utilizado o tempo de $8,6 \text{ h ha}^{-1}$, com dispêndio energético de aproximadamente 1,44 GJ, como adotado por Soares *et al.* (2008) e Silva; Freitas (2008).

2.1.2.2 Trator e Gradagem

Como utilizado por Chechetto; Siqueira; Gamero (2010), o gasto de energia para o preparo do solo por meio da gradagem foi baseado na quantidade de energia correspondente à fabricação do trator, grade e combustível, relacionando-os com sua massa, vida econômica e capacidade de trabalho. Como recomendado pelos autores, consideraram-se 12.000 horas como vida econômica dos tratores e 5.000 horas para grade de discos. A capacidade de campo teórica utilizada foi de $1,770 \text{ ha h}^{-1}$ para a grade. O consumo de óleo diesel para operação da gradagem é de $6,40 \text{ L ha}^{-1}$ (SIQUEIRA *et al.*, 1999). Como, 1 L de óleo diesel equivale a 11.400 kcal de energia (PIMENTEL; PATZEK, 2005).

Trator utilizado TRATOR MF 265 F (potência 47,8 kW) peso 3131 kg (Massey Ferguson). A grade utilizada foi do modelo HI da Baldan com 28 discos (18") e massa de 520 kg. Os coeficientes energéticos foram os mesmos adotados por Macedônio; Picchioni (1985), Campos *et al.* (2004) e Souza *et al.* (2009), de $69,83 \text{ MJ kg}^{-1}$ para o trator e de $57,200 \text{ MJ kg}^{-1}$ para os demais equipamentos (não auto-propelidos).

2.1.2.3 Sementes

A massa e o gasto de energia das sementes estimados para o presente trabalho foram de 4 kg ha^{-1} e $0,13 \text{ GJ}$, respectivamente, assim como utilizado por Soares *et al* (2008).

2.1.2.4 Fertilizantes

Como utilizado por Silva; Freitas (2008) e Soares *et al.* (2008), o dispêndio de energia dos fertilizantes, fósforo e potássio foi de aproximadamente $17,25 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $13,54 \text{ MJ kg}^{-1}$, respectivamente. Já para o micronutriente, foi utilizado de $5,40 \text{ MJ kg}^{-1}$, como adotado por Souza *et al.* (2008) e Chechetto *et al.* (2010).

2.1.2.5 Sistema de irrigação

O gasto de energia do sistema de irrigação localizado foi de 4.159 MJ ha^{-1} , como sugerido por Batty; Keller (1980) e Frigo *et al.* (2008).

2.1.2.6 Transporte

Adotou-se coeficiente energético de $0,50 \text{ MJ km}^{-1} \text{ Mg}^{-1}$, como constatado por Biaggioni; Bovolenta (2010) para o escoamento rodoviário da soja. Foi adotado uma distância de 172 km referente à distância entre as cidades de Aquiraz e Quixadá, onde se encontra uma usina beneficiadora de biocombustível.

Na Tabela 3 estão expostas os dispêndios considerados fixos, estimados no presente trabalho, para produção de 1 hectare de girassol.

Tabela 3 - Componentes de entradas energéticas consideradas fixas, estimados para o cultivo de 1 hectare de girassol, Aquiraz, CE, 2009/2010

Componentes	Unid.	Quantidade	MJ ha ⁻¹
Gradagem			
Trator	H	3	54,66
Grade disco	H	3	17,85
Combustível	L	6,4	304,96
Sistema de irrigação			4159
Sementes	kg	4	130
Fósforo	kg	60	1035
Potássio	kg	20	270,8
Micronutrientes	kg	66	356,4
Mão de obra	H	8,6	1440
Trasporte	km	172	248,71
Total do dispêndio fixos			7768,666

2.1.3 Dispêndios considerados variáveis, de acordo com os tratamentos adotados:

2.1.3.1 Manejo da irrigação

Dispêndio energético relativo à obtenção (para captação, com sistema motobomba 5 cv, da água de poço freático e tratamento do esgoto) e da lâmina de irrigação aplicada, em função dos tratamentos L1 = 74,16; L2 = 148,32; L3 = 222,48; L4 = 296,64 h e L5 = 370,80 mm aplicadas por conjunto motobomba de 5 cv (Tabela 4). O dispêndio foi estimado para um hectare; como a vazão do conjunto motobomba ($Q = 36,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) instalado atende apenas 0,43 ha irrigado, já que, a soma da vazão dos gotejadores requerida para ha é de $83,33 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, desta forma, para se estimar o dispêndio de energia em função do tempo de irrigação e da potência motobomba, foi usada a equação 3:

$$DL = \frac{P \cdot L}{Ca} \quad (3)$$

Em que:

DL – Dispêndio energético em função da lâmina de irrigação (MJ ha⁻¹);

P – Potênciamotobomba (13,24 MJ h⁻¹);

L – Tempo em função dos tratamentos das lâminas de irrigação L1 = 8,90 h; L2 = 17,80 h; L3 = 26,70 h; L4 = 35,60 h e L5 = 44,50 h;

Ca – Coeficiente de consumo específico do sistema (adimensional).

Tabela 4 - Componentes de entradas energéticas estimadas em função da obtenção e distribuição das fontes hídricas: água de poço freático (AP) e esgoto doméstico tratado (E), Aquiraz, CE, 2009/2010

Tratamento	Unid.	L1	L2	L3	L4	L5
Lâminas	mm	74,16	148,32	222,48	296,64	370,80
Tempo de irrigação	h	8,90	17,80	26,70	35,60	44,50
Dispêndio c/ captação AP (5cv) ¹	MJ ha ⁻¹	271,24	542,48	813,72	1085,00	1356,20
Dispêndio c/ irrigação AP (5cv) ²	MJ ha ⁻¹	271,24	542,48	813,72	1085,00	1356,20
Dispêndio total c/ irrig. AP (5 cv)	MJ ha ⁻¹	542,48	1084,96	1627,45	2169,93	2712,41
Dispêndio c/ irrigação E (5 cv)	MJ ha ⁻¹	271,24	542,48	813,72	1084,96	1356,21
Dispêndio tratamento esgoto E	MJ ha ⁻¹	123,21	246,42	369,63	492,84	616,05
Dispêndio total c/ irrigação E	MJ ha ⁻¹	394,45	788,90	1183,35	1577,80	1972,25

¹Sistema motobomba utilizado para captação de água no poço freático (AP); ²Sistema motobomba utilizado para irrigação com água de poço (AP).

2.1.3.2 Adubação nitrogenada

O dispêndio energético com adubação nitrogenada foi estimado em função da dose, aplicada para cada tratamento e do dispêndio energético para se produzir 1 kg do fertilizante nitrogenado (67,0 MJ kg⁻¹), como já utilizado por Silva; Freitas (2008) e Soares *et al.* (2008), (Tabela 5).

Tabela 5 - Componentes de entradas energéticas estimadas em função das lâminas de irrigação

Tratamento	Unid.	N1	N2	N3	N4
Dose de nitrogênio	kg ha ⁻¹	25	50	75	100
Dispêndio de energia	MJ ha ⁻¹	1675	3350	5025	6700

2.1.4 Processamento industrial

Foi utilizado o coeficiente energético de 15085 MJ para o processamento industrial para cada 1.000 kg de biodiesel de girassol produzido, como adotado por Gazonni *et al.* (2005).

2.2 Saída de energia

Para se estimar a saída de energia do sistema, foram utilizados os dados de potencial produtivo de grãos e do teor de óleo, determinado pelo Laboratório do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo método do Soxhlet, em 2010. O potencial produtivo de óleo foi multiplicado pelo coeficiente de ajuste de 0,90. Segundo Ventura *et al.* (2010) e Pighinelli (2010), o óleo de girassol, quando submetido ao processo de transesterificação por via etílica, se obtém um rendimento de aproximadamente 90%. Foi adotado o valor energético de aproximadamente 37,62 MJ por litro de biodiesel, de acordo com o utilizado por Pimentel; Patzek (2005).

2.3 Análise estatística

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparados usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se ajustar equações com significados biológicos, sendo selecionados os modelos matemáticos que apresentaram melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação (R^2), utilizando-se para isso os softwares para análises estatísticas SAEG 9.0 UFV e ASSISTAT 7.6 Beta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 encontra-se o resumo das análises das variâncias para os dados do potencial produtivo de biocombustível (BIO), dispêndio energético (DISP), Saída de energia do sistema (SAID) e Balanço energético (BAL). Pelos resultados apresentados, não se verificou efeito significativo dos tipos de água para nenhuma das variáveis analisadas. Quanto aos tratamentos do tipo lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, houve efeito significativo em todas as variáveis analisadas (DISP, BIO, SAID e BAL). Nas interações A x L, A x N, L x N e A x L x N houve interação significativa para todas variáveis analisadas, revelando a dependência entre estes fatores.

Tabela 6 - Resumo da análise da variância para os dados de dispêndio energético (DISP), saída de energia (SAID) e balanço energético (BAL) do girassol cultivado sob dois tipos de água (A), cinco lâminas irrigação (L) e quatro doses de adubação nitrogenada (N). Aquiraz, CE, 2009/2010

Fonte de variação	G. L.	Quadrados Médios			
		DISP	BIO	SAID	BAL
Bloco	3	20366544,53*	56945,41ns	80592808,79ns	0,0293ns
Trat. (A)	1	16782489,98ns	102935,99ns	145681588,06ns	0,2613ns
Resíduo A	3	1943472,76	29006,97	41052621,19	0,0270
Trat. (L)	4	238380239,17**	841949,74**	1191581593,88**	0,360**
Int. A x L	4	64757955,70**	97080,81**	137394976,32**	0,0322**
Resíduo L	24	4304723,89	8285,49	11726155,84	0,0049
Trat. (N)	3	409867203,26**	322233,83**	456046432,15**	0,2772**
Int. A x N	3	116221762,53**	176397,29**	249648806,88**	0,0289**
Int. L x N	12	22557775,95**	34540,27**	48883628,72**	0,0469**
Int. Ax Lx N	12	31686856,26**	34316,76**	48567299,29**	0,0335**
Resíduo N	90	4300692,07	6468,61	9154795,84	0,0046

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; N – Níveis de nitrogênio; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

3.1 Dispêndio energético (Entrada de energia)

O maior dispêndio energético ou entrada de energia no sistema, de 29.024,31 MJ ha⁻¹, foi observado para irrigação com água de poço, não se diferenciando estatisticamente (P<0,05), do dispêndio de 28.376,58 MJ ha⁻¹ observado para irrigação com água de reúso. Estes gastos energéticos foram próximos, porém superiores ao constatado por Gazzoni *et al.*

(2005), de aproximadamente 26.471,94 MJ ha⁻¹; esta diferença pode estar associada ao dispêndio energético com a prática da irrigação, utilizada no presente trabalho.

Os dispêndios próximos observados para irrigação com os dois tipos de água estão associados ao gasto energético particular para obtenção para cada água. Na irrigação com água de poço são necessárias duas motobombas, de 5 cv, sendo a primeira utilizada para bombear a água do poço freático para a cisterna e a segunda para irrigar a cultura. Já para irrigação com esgoto, embora tenha havido um grande investimento energético para construção das lagoas, de aproximadamente 9.500.103,41 MJ, a vazão de esgoto tratado 60,44 L s⁻¹ e vida útil das lagoas (30 anos) tornam o dispêndio energético por volume de esgoto tratado pequeno, de apenas 0,166 J L⁻¹. Corroborando com Souza *et al.* (2009) que avaliando a eficiência energética da produção de suínos com aproveitamento do esgoto tratado por lagoas de estabilização, constataram que o somatório de todo o dispêndio energético considerado indireto como: instalações; as lagoas de estabilização; equipamento e máquinas agrícolas representam apenas 1,75% do total de entrada. Ainda segundo os autores, o dispêndio energético com a construção das lagoas foi de aproximadamente 0,13% do dispêndio total.

De acordo com a análise de regressão, os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados de dispêndio energético estão espostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para o dispêndio de energia, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ²
Modelo						
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2$						
	Constante	1023,28				
	LAM	99,119	35,829	2,766	0,0072	0,68
	LAM2	-0,217	0,079	-2,747	0,0075	
	NIT	653,593	147,712	4,425	0,0002	
	NIT2	-4,6448	1,1632	-3,993	0,0006	
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z$						
	Constante	9968,41				
	LAM	110,207	18,966	5,811	0,0000	0,87
	LAM2	-0,1903	0,04182	-4,550	0,0002	
	NIT	86,4259	13,7688	6,277	0,0000	

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

Nas Figuras 1A e B, estão expostas as superfícies de resposta estimadas dos dispêndios energéticos para a produção de biocombustível por hectare de girassol irrigado em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Os maiores dispêndios energéticos foram de 34.223 e 34.557 MJ ha⁻¹, obtidos com os tratamentos L4N3 (296,64 mm e 75 kg ha⁻¹ de N) e L4N4 (296,64 mm e 100 75 kg ha⁻¹ de N), para irrigação com água de poço freático e esgoto, respectivamente.

De acordo com os gráficos, pode-se observar que há maior dispêndio energético quanto ao aumento do fator dose de nitrogênio, quando comparado ao observado para a variável lâmina de irrigação. Isto se deve ao grande dispêndio energético para produção dos nutrientes nitrogenados. Fato já relatado por Santos; Simon (2010) e Oliveira Junior; Kroll (2005). Segundo Oliveira *et al.* (2008), o dispêndio energético com os fertilizantes é de aproximadamente 79,6% de todo gasto energético envolvido no cultivo do girassol sob plantio direto. Para Gazzoni *et al.* (2005), é necessário racionalizar e buscar fontes alternativas dos fertilizantes nitrogenados de modo a mitigar o dispêndio energético na produção agrícola e viabilizar a produção de biocombustível.

Nos dois sistemas de produção, o aumento dos fatores lâmina de irrigação e dose de nitrogênio proporcionou incremento do dispêndio energético, até o ponto máximo em que o aumento dos fatores proporcionou diminuição do dispêndio energético. Isto ocorreu devido à diminuição da produtividade da cultura; desta forma, houve menos óleo para ser processado. Segundo dados apresentados por Pimentel; Patzek (2005), o processamento industrial consome aproximadamente 55,5% de todo o dispêndio energético para a produção de biocombustível, campo e indústria.

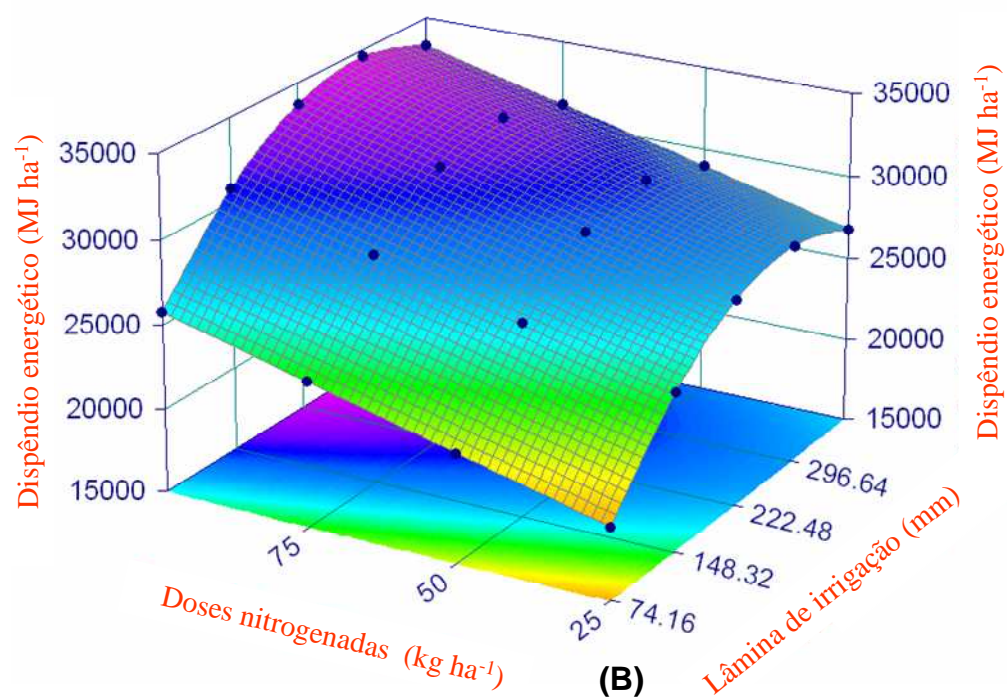
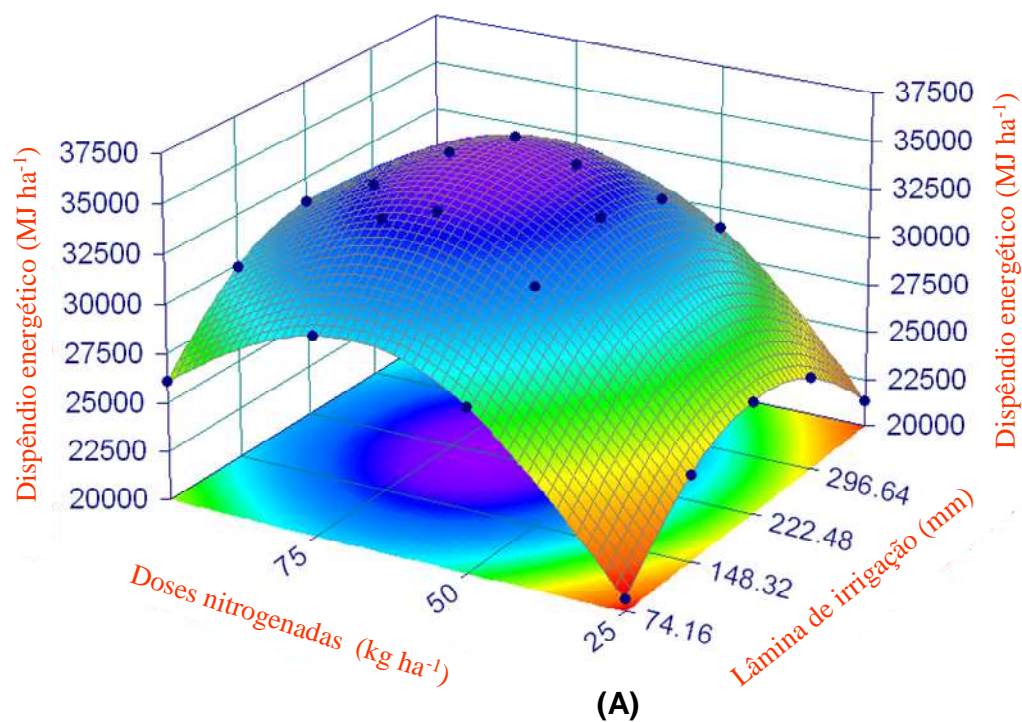


Figura 1- Dispêndio energético para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigados com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.

3.2 Potencial produtivo de biodiesel

A maior média de potencial produtivo de biocombustível (909 kg ha^{-1}) foi obtida com irrigação de esgoto, contudo, não houve diferença estatística ($P < 0,05$) do observado para irrigação com água de poço freático, de 858 kg ha^{-1} , indicando que ambas as fontes hídricas podem ser utilizadas para irrigação do girassol destinado à produção de biocombustível.

Na Tabela 8 estão expostos os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados de potencial produtivo de biocombustível em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, para os dois tipos de água.

Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para o potencial produtivo de biodiesel, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab,	R^2
Modelo $Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z + e*Z^2 + f*XZ$						
Água de poço	Constante	-233,777				
	LAM	6,26574	1,23703	5,065160	0,0001	0,81
	LAM2	-0,01455	0,00250	-5,8129	0,0000	
	NIT	20,5476	4,99655	4,1124	0,0005	
	NIT2	-0,1765	0,03686	-4,788	0,0001	
NIT*LAM	0,00874	0,0078588	1,112	0,1424		
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z$						
Esgoto	Constante	145,817				
	LAM	6,95286	1,25723	5,530	0,0000	0,77
	LAM ²	-0,01261	0,00277	-4,550	0,0002	
	NIT	1,2877	0,9127	1,411	0,0887	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

De acordo a equação obtida para irrigação com água de poço freático, representado pela superfície de resposta, Figura 2A, pode-se observar que os aumentos dos dois fatores lâmina de irrigação e doses de nitrogênio são fundamentais para se obter o potencial máximo de biocombustível por hectare de girassol plantado. O máximo rendimento de biocombustível por hectare foi estimado para o tratamento L3N3 ($222,48 \text{ mm}$ e 75 kg ha^{-1} de N) de aproximadamente 1.134 kg ha^{-1} de biodiesel. Para Silva; Freitas (2008), a eficiência energética do diocombustível está relacionada diretamente ao aumento das variáveis de produção com o teor de óleo e produtividade de grãos e da mitigação dos dispêndios energéticos da produção. Desta forma, determinar o incremento da produção em função do

aumento das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio possibilita a racionalização na produção do biocombustível.

O uso excessivo dos fertilizantes nitrogenados e os baixos rendimentos produtivos e teor de óleo propiciam o balanço energético negativo para biodiesel de girassol. Pimentel; Patzek (2005) estimaram balanço energético de 1:0,76 do biodiesel de girassol. Este balanço negativo deve-se ao baixo potencial produtivo (1.500 kg ha^{-1}) e teor de óleo de 26% (aproximadamente $390 \text{ kg de óleo ha}^{-1}$), aliado à grande quantidade de adubação nitrogenada de 110 kg ha^{-1} , considerados pelos autores. O rendimento de óleo utilizado pelos referidos autores foram inferiores ao rendimento de biodiesel estimado no presente trabalho, de 1.134 kg ha^{-1} com apenas 75 kg ha^{-1} de N. Silva *et al.* (2011), trabalhando com o girassol irrigado cultivares Catissol 01 e Embrapa 122 V-2000, observaram potencial produtivo de até $4.222,76$ e $3.948,02 \text{ kg ha}^{-1}$ e teores de óleo de até 43% e 45%, respectivamente. Lima (2011) e Feitosa (2011) também determinaram teor de óleo 43,49 % e 42,1 % para a cultura do girassol.

O rendimento de biocombustível estimado para irrigação com esgoto em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio (Figura 2B) diferiu do estimado para água de poço freático. O incremento do biocombustível foi quadrático em função das lâminas de irrigação e linear para as doses de nitrogênio. Embora, o maior rendimento de biocombustível de 1.228 kg ha^{-1} tenha sido estimado para lâmina de irrigação e doses de nitrogênio de 296,64 mm e 100 kg ha^{-1} de N, respectivamente; fixando a lâmina de irrigação em 296,64 mm, o incremento de biocombustível em função do aumento das doses entre N1 e N4 foi de apenas 7,8%. Isto se deve provavelmente ao aproveitamento dos nutrientes, em especial o nitrogênio, presente no esgoto, pela planta. Corroborando com Chernicharo (2001), ao afirmar que os nutrientes contidos nos efluentes tratados podem reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais.

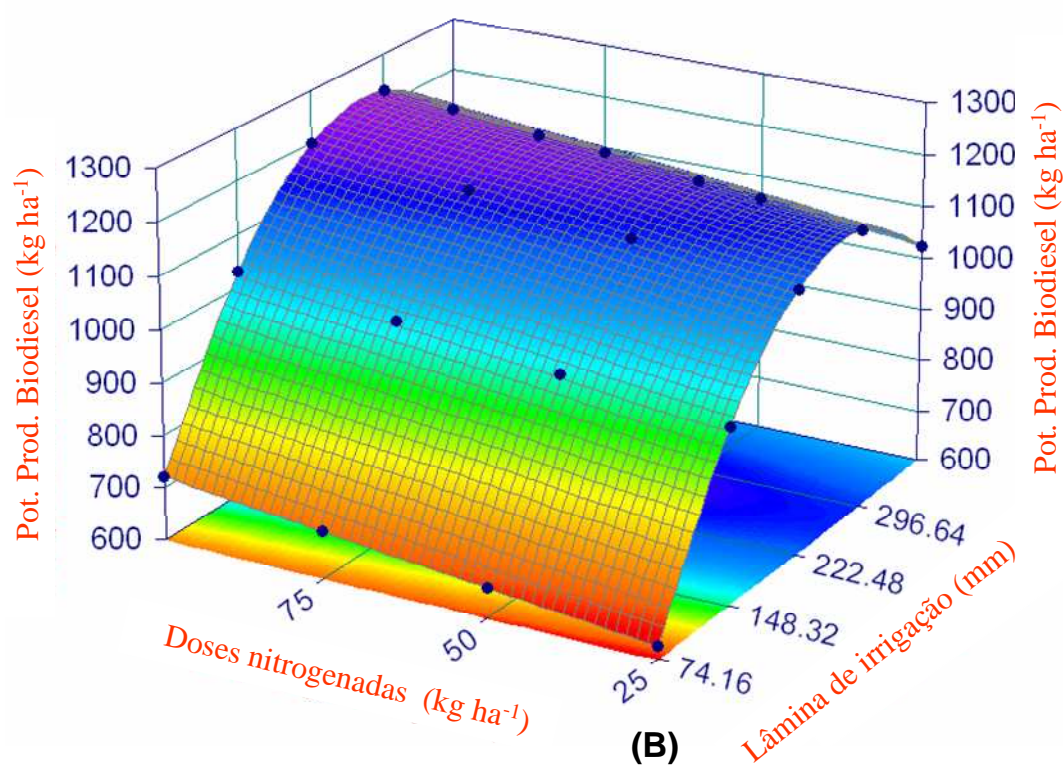
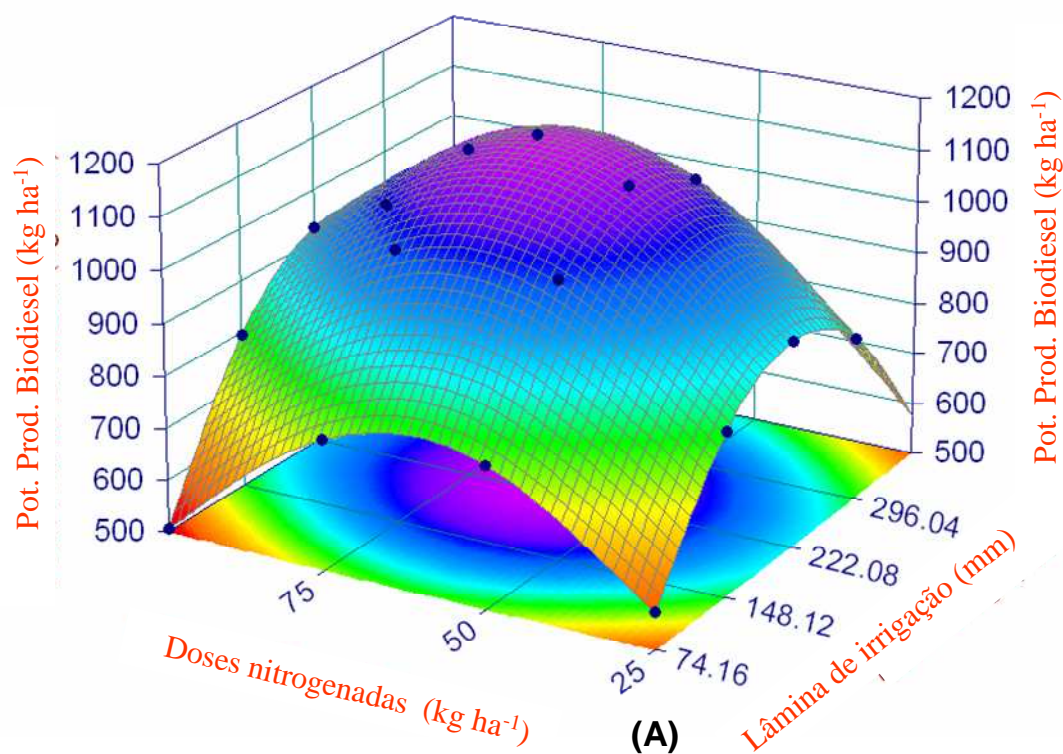


Figura 2 - Superfície de resposta do potencial produtivo de biodiesel para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigados com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.

3.3 Saída de energia

O maior rendimento energético ou saída de energia do sistema (32.289 MJ ha⁻¹), foi obtido para irrigação com esgoto, não diferindo estatisticamente (P<0,05) de 34.198 MJ ha⁻¹, obtido com água de poço freático.

Os modelos matemáticos que melhor se ajustaram ao rendimento energético, para os dois tipos de água de irrigação, em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio estão espostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para a saída de energia, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ²
Modelo Y = a + b*X + c*X ² + d*Z + e*Z ²						
Água de poço	Constante	-13366,5				
	LAM	256,266	43,0470	5,95318	0,0000	0,80
	LAM2	-0,54743	0,094915	-5,76757	0,0000	
	NIT	846,148	177,470	4,76783	0,0001	
	NIT2	-6,63991	1,39758	-4,75102	0,0001	
Y = a + b*X + c*X ² + d*Z						
Esgoto	Constante	4937,07				
	LAM	235,410	42,5673	5,5303	0,0000	0,77
	LAM ²	-0,42710	0,093858	-4,5505	0,0002	
	NIT	43,5993	30,9025	1,41086	0,0887	

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

Foi estimado incremento energético quadrático, para o girassol irrigado com água de poço freático, em função do aumento das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. A máxima saída de energia (40.592,59 MJ ha⁻¹) foi estimada para os tratamentos L3N3 (Figura 3A). Este valor foi superior ao constatado por Gozzoni *et al.* (2005), de 37.620 MJ ha⁻¹, diferença que pode estar associada ao rendimento de biocombustível por hectare, já que os referidos autores consideraram rendimento de 1000 kg ha⁻¹ de biocombustível e no presente trabalho, sob os tratamentos L3N3, este rendimento foi de 1134 kg ha⁻¹. Diante do exposto, pode-se afirmar que para se obter a maior produção energética do girassol irrigado com água de poço deve-se aplicar uma lâmina de irrigação de 222,48 mm bem distribuída na fase vegetativa da cultura e adubação nitrogenada de 75 kg ha⁻¹ de N.

Foi observado incremento do rendimento energético do girassol irrigado com esgoto, mais acentuado e modo quadrático em função das lâminas de irrigação. Já em função

das doses de nitrogênio, foi constatado aumento linear e menos acentuado do rendimento energético (Figura 3B). Embora para irrigação com esgoto tenha-se investido maiores lâminas de irrigação e dose de nitrogênio L4N4 para se obter rendimento energético de 41.546,23 MJ ha⁻¹ maior apenas 2,3% ao estimado para água de poço com os tratamentos L3N3, ao fixar a lâmina de irrigação em L4 há pouca variação do rendimento energético em função das doses de nitrogênio. Para o girassol irrigado com esgoto, o rendimento energético estimado com o tratamento L4N1 de aproximadamente 38276 MJ ha⁻¹ é apenas 5,7% inferior ao obtido com o tratamento L3N3, para irrigação com água de poço, porém uma economia de 50 kg ha⁻¹ de N.

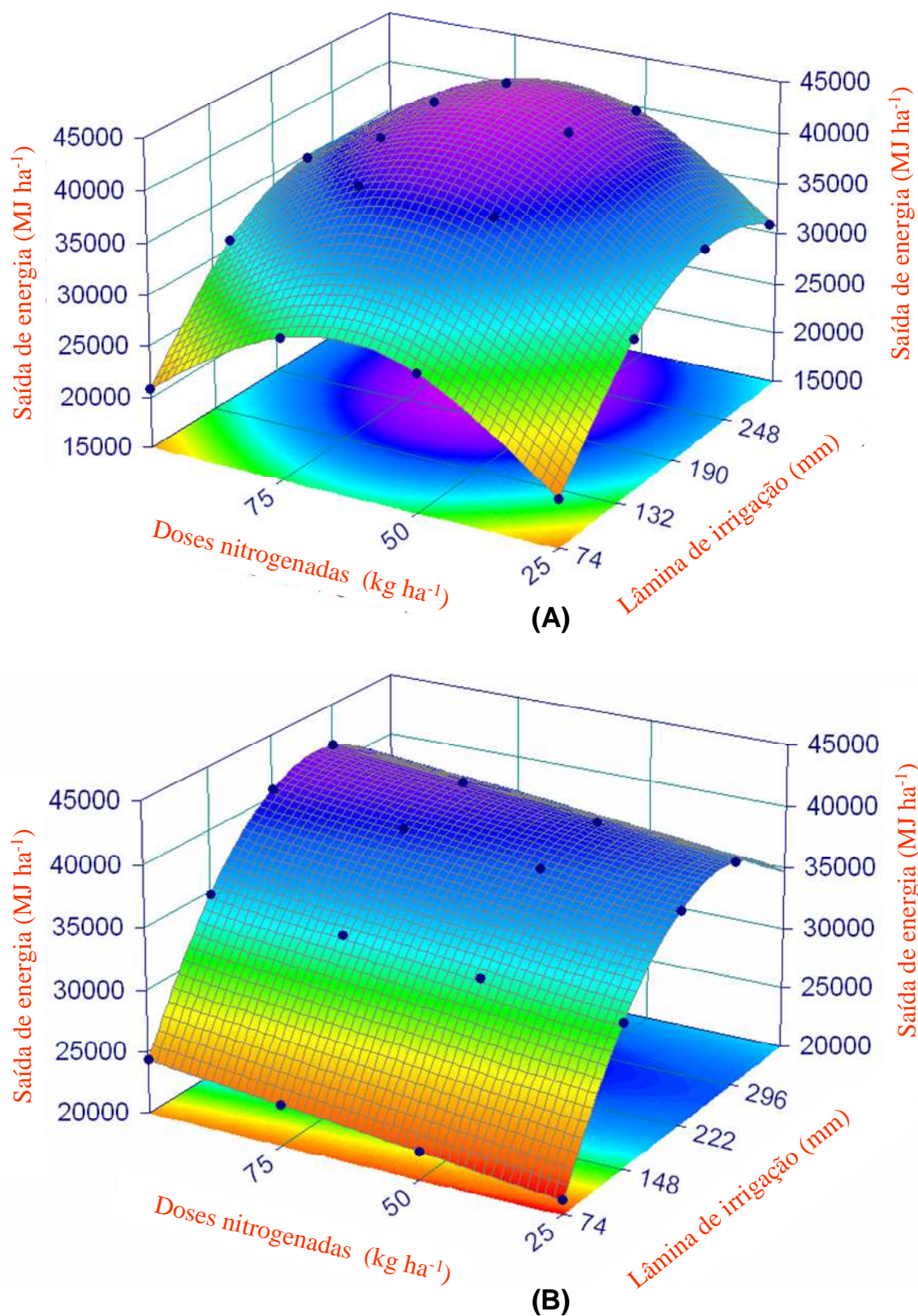


Figura 3 - Rendimento energético para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigado com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.

3.4 Balanço energético

O balanço energético do biocombustível a partir do girassol irrigado foi positivo. Para cada unidade de energia investida na produção do girassol obteve-se um retorno de aproximadamente 1,11 e 1,19 unidades de energia para o girassol irrigado com água de poço e esgoto, respectivamente, não constatando diferença significativa ($P > 0,05$). Estes valores foram superiores ao observado por Pimentel; Patzek (2005), de 0,76, e inferiores ao constatado por Gazzoni *et al.* (2005), ao observarem que para cada unidade de energia investida na produção de biocombustível de girassol resultou em retorno de 2,37. Esta diferença pode estar associada aos dispêndios energéticos oriundos das práticas, como o dispêndio com a irrigação, não mencionada por Gazzoni *et al.* (2005), porém utilizada no presente trabalho. A saída de energia do sistema também influencia no balanço energético Pimentel; Patzek (2005) consideraram rendimento de apenas 390 kg ha⁻¹ de óleo, enquanto no presente trabalho obteve-se uma média de 879 kg ha⁻¹ de óleo.

Na Tabela 10 estão os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados do balanço energético do girassol irrigado com água de poço e esgoto em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

Tabela 10 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) balanço de energia, em função das lâminas de irrigações e doses de nitrogênio. Aquiráz, CE, 2009/2010

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
Modelo						
Água de poço	Constante	0,756176				
	LAM	0,004364	0,0014795	2,94982	0,0053	0,61
	LAM ²	-0,0000106	0,000002994	-3,5521	0,0016	
	NIT	0,002856	0,00597609	0,47788	0,3201	
	NIT ²	-0,0000592	0,00004409	-1,3418	0,1005	
	LAM*NIT	0,00000921	0,000009399	0,980728	0,1717	
$Y = a + b*X + c*X^2 + d*Z$						
Esgoto	Constante	0,8894				
	LAM	0,004042	0,0007122	5,6754	0,0000	0,78
	LAM ²	-0,00000774	0,00000157	-4,9319	0,0001	
	NIT	-0,0020194	0,0005170	-3,9056	0,0006	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NIT – Dose de nitrogênio.

O balanço energético estimado para o girassol irrigado com água de poço, aumenta de forma positiva com o aumento da disponibilidade hídrica e doses de nitrogênio até o tratamento L3N2 de 1,30, sendo este o tratamento mais recomendado para produção de biodiesel sustentável e ecologicamente correto (Figura 4A). De acordo com Pracucho *et al.* (2007), avaliar a eficiência energética na produção agrícola permite a aproximação da sustentabilidade ambiental.

A redução do balanço energético estimado para doses de adubação nitrogenadas superior ao tratamento N2 (50 kg ha⁻¹ de N) deve-se ao grande dispêndio energético necessário para produção do fertilizante nitrogenado. Desta forma, o incremento do ganho energético com aumento das doses de nitrogênio é inferior ao dispêndio com fertilizante nitrogenado (Figura 4A). É de bom senso entre os pesquisadores que o fertilizante nitrogenado pode proporcionar balanço energético negativo, devido ao grande dispêndio energético para sua produção (SILVA; FREITAS, 2008, PIMENTEL; PITZEK, 2005 e GAZZONI *et al.* 2005).

Oliveira *et al.* (2008) observaram balanço energético de 2,9 para o girassol sob plantio direto. Para obter este valor os referidos autores computaram apenas os dispêndios energéticos com o cultivo do girassol, não considerando o dispêndio energético com o transporte e o processamento industrial. Desta forma, a possível justificativa para este alto valor do balanço energético deve-se à não inclusão de dispêndio com o beneficiamento no sistema. Pois, só o processamento industrial consome aproximadamente 55,5% de todo o dispêndio energético para a produção de biocombustível, campo e indústria. Pimentel; Patzek (2005).

Na Figura 4B pode-se observar incremento positivo do balanço energético, do girassol irrigado com esgoto, em função do aumento das lâminas de irrigação e diminuição das doses de nitrogênio. O maior balanço de energia (1,36) foi estimado com a menor dose de nitrogênio N1 (25 kg ha⁻¹ de N) e lâmina de irrigação referente a 222,48 mm. Este bom resultado se deve provavelmente à reciclagem dos nutrientes presentes no esgoto pela planta. Desta forma pode-se minimizar o uso do fertilizante nitrogenado sem causar diminuições acentuadas do rendimento de biodiesel. Corroborando com Santos; Lucas Júnior (2004), ao afirmarem que todo processo produtivo gera resíduos e nestes há acúmulo de energia. Desta forma, a reutilização dos resíduos proporciona reciclagem da energia, redução de custos, dos impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade energética.

Diante da viabilidade energética do girassol irrigado com esgoto e das vantagens ambientais, como o não lançamento dos esgotos nas calhas dos rios, uso de água de qualidade

inferior para irrigação e aproveitamento dos nutrientes presentes no esgoto pelas plantas, recomenda-se o uso desta fonte hídrica sob a lâmina de irrigação de 222,48 mm e dose de 25 kg ha⁻¹ de N para cultivo do girassol destinado a produção de biocombustível.

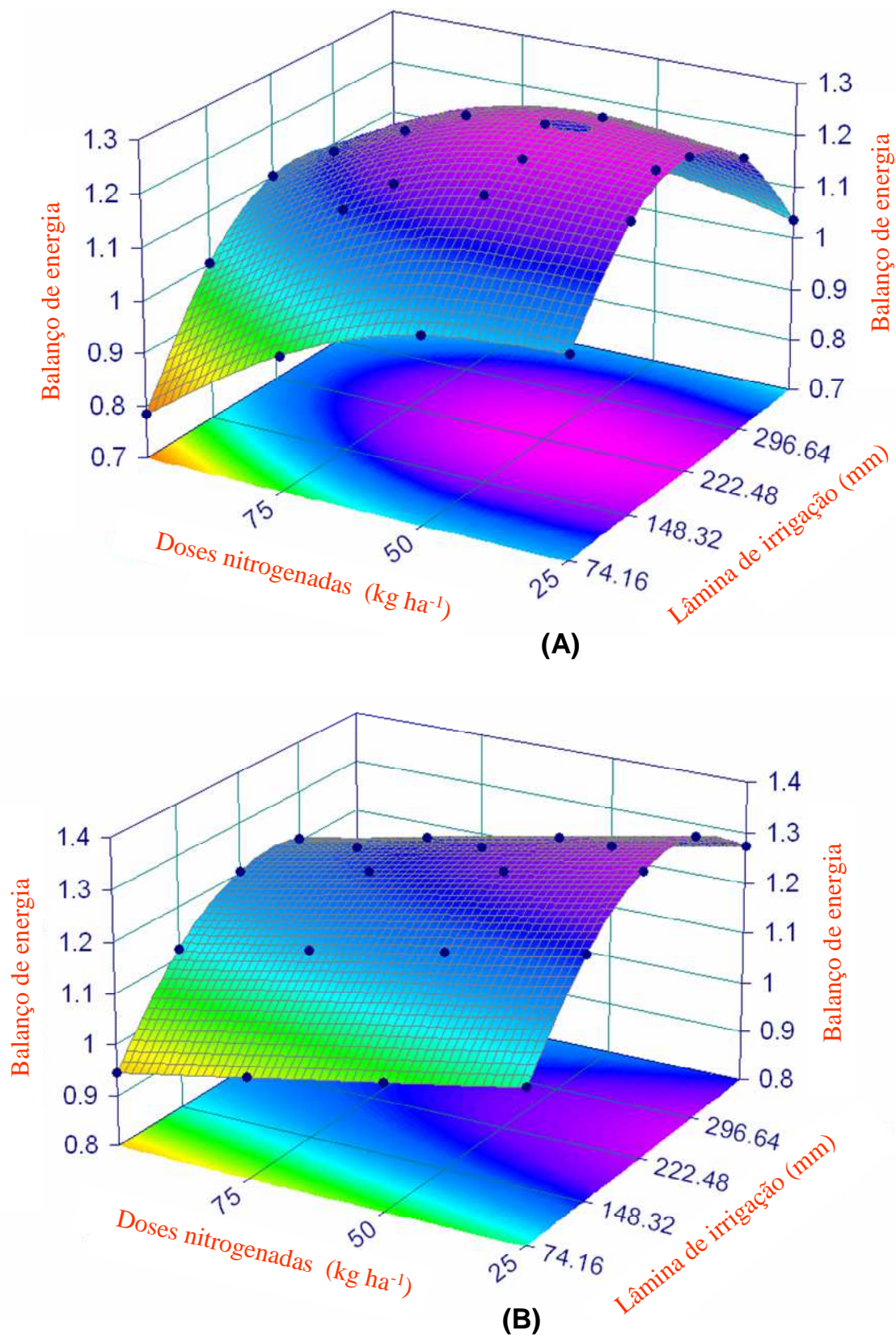


Figura 4 - Balanço energético para o cultivo de um hectare de girassol em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, irrigados com água de poço freático (A) e esgoto (B). Aquiraz, CE, 2009/2010.

4 CONCLUSÕES

Os maiores resultados de potenciais produtivos de biodiesel, de 1134 e 1228 kg ha⁻¹ foram obtidos com L3N3 (222,48 mm e 75 kg ha⁻¹ de N) e L3N4 (222,48 mm e 100 kg ha⁻¹ de N); quanto ao dispêndio energético, os maiores foram de 34.223 e 34.557 MJ ha⁻¹ obtidos com L4N3 e L4N4; já para a saída de energia, os máximos de 40.592,59 MJ ha⁻¹ e 41.546,23 MJ ha⁻¹ foram obtidos com L3N3 e L4N4 para irrigação com água de poço e esgoto, respectivamente.

O uso excessivo da lâmina de irrigação e doses de nitrogênio proporciona diminuição do balanço energético.

Para o girassol irrigado com água de poço, a lâmina de irrigação de 222,48 mm aliada à adubação nitrogenada de 50 kg ha⁻¹, proporcionaram balanço energético mais positivo de 1,30. Enquanto para o girassol irrigado com esgoto a lâmina de irrigação de 222,48 mm e adubação nitrogenada de 25 kg ha⁻¹, balanço energético mais positivo de 1,36 e consequentemente a produção de biodiesel mais sustentável.

O esgoto doméstico tratado pode ser utilizado no cultivo do girassol destinado à produção de biodiesel, pois viabiliza de modo ecologicamente sustentável o balanço energético.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, J. H. O.; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 28-33, jan./mar. 2008.

BATTY, J. C.; KELLER, J. Energy requirements for irrigation. *In*: PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. p. 35-44.

BIAGGIONI, M. A. M.; BOVOLENTA, F. C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 587-599, 2010.

BILIBIO, C. *et al.* Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.

CAMPOS, A. T. *et al.* Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 245-251, jan./fev. 2004.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 544 p.

ESTADOS UNIDOS. Foreign Agricultural Service. **Oilseeds: world markets and trade**. [S. l.], 2003. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2003/03-11/toc.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2011.

FEITOSA, D. R. C. **Comportamento do girassol no Vale do Curu, Ceará, sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio**. 2011. 72 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FRIGO, M. S. *et al.* Análise energética do primeiro ano de cultivo de pião-manso em sistema de irrigação localizado. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 261-271, 2008.

GAZZONI, D. L. *et al.* Balanço energético das culturas de girassol e soja para produção

de biodiesel. **Biomassa e Energia**, v. 2, n. 4, p. 259-265, 2005

HOLANDA, A. **Cadernos de altos estudos: biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004. 200 p. (Cadernos de Altos Estudos, 1).

http://www.massey.com.br/portugues/especificacoes/espec_00000372.pdf

LIMA, A. D. **Interação entre lâminas de irrigação e coberturas do solo, e adubação borácica na cultura do girassol**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S.A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. v. 1, 95 p.

OLIVEIRA JUNIOR, E. D.; KROLL, L. B. Energia agregada nas mudas de eucalipto. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 3, n. 6, 2005.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio para uso em sistemas agropecuários. *In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 16.; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 4., 2005, Londrina. Anais...* Londrina: EMBRAPA, 2005a. p. 40-43.

OLIVEIRA, M. D. M.; FREITAS, S. M.; FREDO, C. E. Análise energética da produção de oleaginosas no Estado de São Paulo. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 3, n. 6, jun. 2008.

PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, v. 14. n. 1, p. 65-76, 2005.

PRACUCHO, T. T. G. M.; ESPERANCINE, M. S. T.; BUENO, O. C. Análise

energética e econômica da produção de milho (*Zea mays*) em sistema de plantio direto em propriedades familiares no município de Pratânia - SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 2, p.94-109, 2007.

SANTOS, R. R.; SIMON, E. J. Análise energética do milho em sistema de plantio direto, no assentamento rural da fazenda Pirituba, Itaberá/SP. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p.121-137, 2010.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.

SILVA, A. R. A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 57-64, 2011.

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, P. 843-851, 2008.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 80-89, 1999.

SOARES, L. H. B. *et al.* **Eficiência energética comparada das culturas do girassol e soja, com aptidão para a produção de biodiesel no Brasil**. Seropédica: EMBRAPA, 2008.

SOUZA, C. V. *et al.* Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 547-557, 2009.

SOUZA, J. L. *et al.* Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Revista Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 4, p. 433-440, 2008.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TCPO 10: Tabela de Composições de Preços para Orçamentos. São Paulo: Pini, 1996.

UNGARO, M. R. G. Girassol (*Helianthus annuus* L.). **Boletim Informativo do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 200, n. 5, p. 112-113, 1990.

VENTURA, D. A. M. F.; ALVES, K. B.; SANTOS, M. K. V. A. Análise comparativa entre o biodiesel de girassol e o biodiesel de mamona. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. [**Anais...**]. Disponível em:<
<http://www.cbmamona.com.br/pdfs/BID-06.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2011.

CAPÍTULO 5

Crescimento vegetativo de cana-de-açúcar (*saccharum officinarum* L.) irrigada com esgoto doméstico tratado

RESUMO

O uso de água residuária na irrigação agrícola propicia a reciclagem dos nutrientes presentes no esgoto doméstico, redução dos fertilizantes comerciais e minimiza os impactos ambientais pela não deposição das águas residuárias nas calhas dos rios. Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes lâminas de águas residuárias tratadas e de poço freático. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação; nas subparcelas foram distribuídas cinco lâminas de irrigação baseadas em percentuais da evaporação do tanque classe A (ECA), que corresponderam à multiplicação da ECA pelos fatores 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25. A partir dos 52 dias após o plantio (DAP), foram coletados mensalmente: diâmetro do colmo, a altura de plantas e de colmo e o número de plantas por metro linear. A irrigação com esgoto doméstico tratado proporcionou maiores diâmetros de colmo, altura de planta e de colmo. A lâmina de irrigação referente a 150% ECA (937,5 mm) proporcionou maiores alturas de planta e de colmo.

PALAVRAS-CHAVE: água de reúso, biomassa, manejo de irrigação, *saccharum officinarum* L.

Vegetative growth of sugar cane (*saccharum officinarum* L.) irrigated with treated domestic sewage

ABSTRACT

The use of sewage water in agricultural irrigation promotes recycling of many nutrients present in domestic sewage, reduction of commercial fertilizers and minimizes environmental impacts, by absence of deposition of residual water in the gutters of the rivers. Thus, the objective of this study was to evaluate the vegetative development of sugar cane irrigated sob different irrigation levels treated with sewage water and well water. The statistical design used was randomized block in split-plots with four replications. In the plots, we evaluated the effect of two types of irrigation water and the subplots were five irrigation levels distributed based on percentage of evaporation class "A" PAN, which corresponded to the multiplication of ECA by factors 0.50; 0.75; 1.00; 1.25 and 1.50. From 52 days after planting (DAP) were collected monthly: stem diameter, plant and stem height and the number of plants per linear meter. The irrigation by domestic sewage water resulted in higher stem diameter, plant height and stem height. The irrigation level related to 150% ECA (937.5 mm) resulted in higher plant and stem height.

KEYWORDS: water reuse, biomass, irrigation management, *saccharum officinarum* L.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das espécies mais cultivadas no Brasil, principalmente para produção de açúcar e álcool. Uma das características que favorecem o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil é o conjunto de condições naturais extremamente favoráveis. Este potencial certamente será útil para firmar o país como futuro líder do etanol no mercado internacional (KOHLHEPP, 2010). A produtividade do etanol da cana-de-açúcar por hectare no Brasil (6.800 litros) é quase o dobro da do etanol de milho nos Estados Unidos (3.800 litros) (OLIVÉRIO, 2008).

Os desafios de sustentabilidade dos próximos séculos serão, principalmente, a fome, para uma população com mais 10 bilhões de pessoas no mundo até 2050. O clima tem sido consideravelmente alterado pelo efeito estufa. Diante dessa problemática, têm-se buscado fontes de energia limpas e renováveis como, por exemplo, o uso de bicombustíveis, que no caso da cana-de-açúcar é o etanol.

Além da produção do etanol, a cana-de-açúcar produz o bagaço que é resultado do acúmulo de fitomassa, considerado como resíduo industrial e que pode ser utilizado para produção de energia elétrica através do processo de co-geração de energia. No caso da co-geração, estima-se um aumento da oferta de energia elétrica em 11,4% da oferta total de eletricidade no País em 2030, o que representa a geração de 136 TWh (PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, 2007). Desta forma, o bagaço que outrora era considerado subproduto, atualmente é fundamental para fortalecer a matriz energética brasileira.

A cana-de-açúcar produz grandes quantidades de fitomassa e para isso são necessárias grandes quantidades de nutrientes e água. Segundo Coleti *et al.* (2006), a quantidade de macronutrientes extraídos durante a produção da cana obedece à seguinte ordem: K>N>P>Mg>Ca. Oliveira (2008), trabalhando com 11 variedades de cana-de-açúcar irrigada, em Carpina-SE, constatou que com a produtividade de 196 t ha⁻¹ de cana são exportados em média 98, 15, 184, 193 e 63 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. São necessários entre 1500 a 2000 mm de água bem distribuídos durante o ciclo da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Contudo, recentemente, vários autores têm obtido altas produtividades, em torno 155 Mg ha⁻¹, com aproximadamente 1500 mm de água por ciclo (MAULE *et al.*, 2001).

Oliveira *et al.* (2010) ressaltam que a avaliação de algumas variáveis morfológicas das plantas, como altura, diâmetro, plantas m^{-1} , área foliar e produção, torna possível a identificação da capacidade produtiva da cultura, além de analisar os efeitos do manejo da espécie. Dantas Neto *et al.* (2006), testando quatro níveis de irrigação (807, 986, 1.164, 1.343 mm) para produção da cana-de-açúcar, primeira soca, observaram aumento linear dos parâmetros de crescimento (comprimento do colmo, diâmetro do colmo e número de internódios do colmo).

O nordeste brasileiro tem grande potencial de produção para cana-de-açúcar, pois é grande a intensidade de luz, sendo praticamente 12 horas diárias durante o ano todo, os solos são bem drenados, fatores de destaque para produção desta cultura. O fator limitante para o cultivo da cana é a água, já que, no semi-árido nordestino, as precipitações pluviais médias anuais giram em torno de 750 mm. Desta forma, o uso da irrigação é indispensável para o cultivo da cana-de-açúcar no semi-árido brasileiro, em especial no estado do Ceará. Diante dos grandes volumes de água consumidos na produção agrícola, de aproximadamente 80% da demanda de água no mundo (AGENDA 21MUNDIAL), têm se intensificado as pesquisas no uso eficiente da água para produção agrícola e na busca de alternativas de fontes hídrica.

A exigência hídrica da cana de açúcar pode ser suprida pelo uso parcial ou total de água residual, fornecida pelas Estações de Tratamento de Água e Esgoto das pequenas cidades. Além disso, o uso da água residual na agricultura apresenta várias vantagens como: a sustentabilidade de recursos hídricos, a minimização da poluição hídrica dos mananciais, possibilita a economia de fertilizantes e matéria orgânica, propicia aumento da produtividade agrícola e permite maximizar a infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgoto pela utilização múltipla de água (BERNARDI, 2003).

Considerando os benefícios e o aproveitamento do uso de água provenientes de esgoto tratado, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo inicial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) com uso de água de poço e esgoto doméstico após ser tratado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de julho de 2010 e maio de 2011, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, mantido pela Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE) e Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Aquiraz-CE, Região Metropolitana de Fortaleza-CE, com as seguintes coordenadas: 3° 54' 05" de latitude sul e 38 ° 23' 28" longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 14,2 m. O clima da região é classificado segundo Köppen como Aw` corresponde a Tropical chuvoso, com uma precipitação média anual de 1379,9 mm e temperatura média anual de 27°C (FUCEME/IPECE, 2006).

O solo da área está classificado como Argissolo, textura franca arenosa média e relevo plano (EMBRAPA, 2006). Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras simples de solo em zig-zag, nas camadas 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, em seguida homogeneizadas e reirada uma amostra composta por camada, para determinação dos atributos físico-hídricos e químicos do solo, obedecendo as orientações prescritas no Manual de recomendações de calagem e adubação para o estado do Ceará, da Universidade Federal do Ceará (1993). As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC e as análises foram realizadas pelos métodos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA SOLOS, 1997). Os atributos físicos-hídricos e químicas do solo são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Características físico-hídricos do solo da área experimental em Aquiraz-CE, 2010

Profundidade	Densidade		CEes.	pH	Umidade do solo		Classificação textural
cm	-----kg dm ⁻³ -----		(dS m ⁻¹)	água	-----m ⁻³ m ⁻³ -----		
	Solo	Partícula			33Kpa	1500Kpa	
0-25	1,52	2,65	0,23	6,5	3,64	2,42	Areia
25-50	1,54	2,69	0,15	6,0	3,53	2,48	Areia

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza-CE, 2010.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010

Prof.	N	C	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	M.O
cm	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	Mg kg ⁻¹	-----mg dm ⁻¹ -----						
0-25	0,5	5,04	74	87	1,0	0,7	0,15	1,32	6	8,69
25-50	0,3	3,72	30	50	1,6	0,5	0,15	1,48	3	6,41

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza-CE, 2010.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas (split-plot) com dois tratamentos na parcela, cinco na subparcela com quatro repetições.

As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AP; esgoto doméstico tratado - E). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe “A” (ECA). As lâminas de irrigação corresponderam a: L1, lâmina de irrigação referente a 50% da ECA; L2, lâmina de irrigação referente a 75% da ECA; L3, lâmina de irrigação referente a 100% da ECA; L4, lâmina de irrigação referente a 125% da ECA e L5, lâmina de irrigação referente a 150%.

Cada bloco media 6,00 m de largura por 36,00 de comprimento. Em cada um foram distribuídas aleatoriamente as duas parcelas de 6,00 m de largura por 12,00 m de comprimento. As subparcelas eram constituídas de quatro linhas de plantas de 6,00 m de comprimento, sendo as duas linhas externas consideradas como bordaduras, de modo a evitar influência entre os tratamentos, e as duas internas com linhas úteis. Foi adotado o espaçamento de 1,2 m entre linhas.

Na Figura 1 está apresentado o croqui geral da área experimental, indicando o esquema distribuição dos tratamentos no campo.

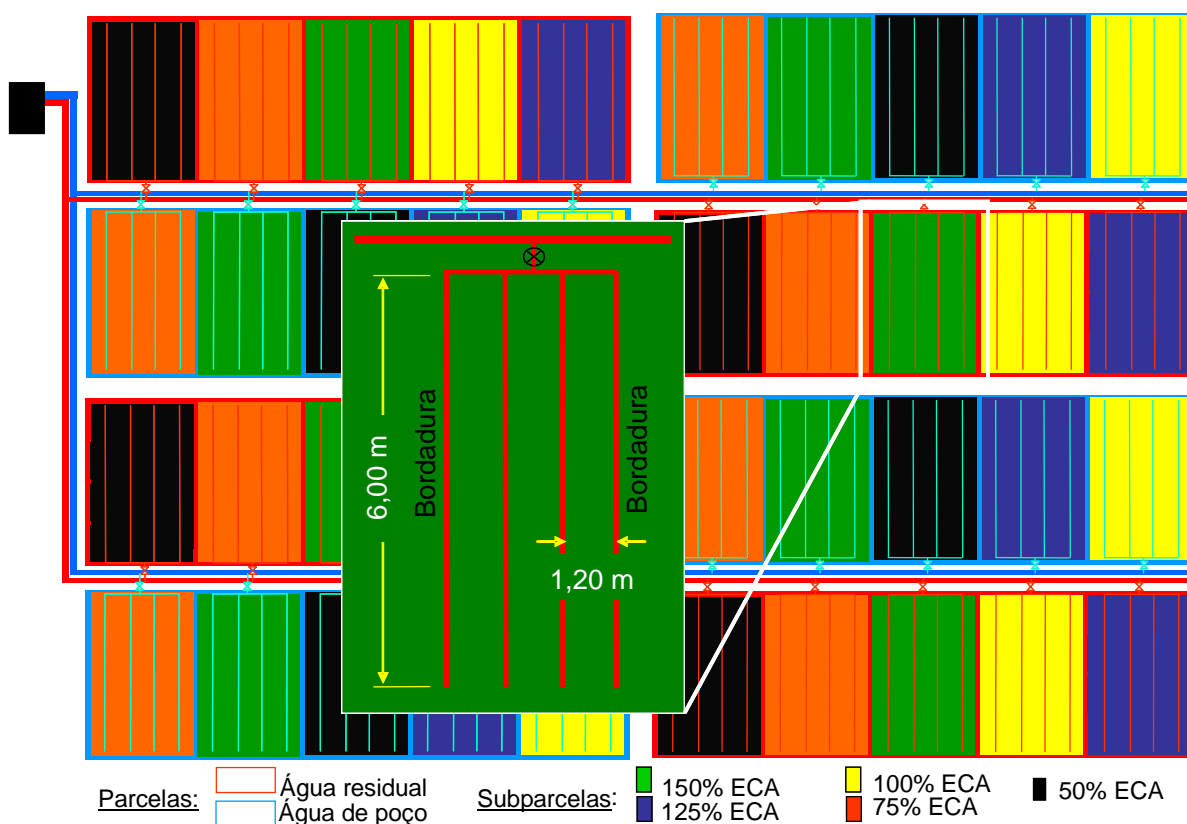


Figura 1 – Croqui da área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2010.

A variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L*), foi a SP 71 6949, por ser adaptada ao clima da região Nordeste do Brasil. As cana sementes foram doadas pela Empresa Ypióca situada em Fortaleza, CE.

2.1 Adubação utilizada

A adubação baseou-se na análise química do solo e exigências nutricionais da cultura. Foi aplicado o equivalente a 150 kg de N ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹, 120 kg de K₂O ha⁻¹ tendo sido usados como fonte de nutrientes o sulfato de amônio, fosfato de monoamônio (MAP) e sulfato de potássio, respectivamente. Os fertilizantes foram distribuídos, por fertirrigação, durante a fase vegetativa da cultura. Para suprir possíveis deficiências de micronutrientes, foram aplicados 12 kg de FTE – BR 12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo) sendo 5 g m⁻¹, na fundação, 10 Mg ha⁻¹ de esterco bovino, com a finalidade de melhorar as características físicas do solo, contribuir com o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, bem como melhorar as condições de aeração do solo favorecendo a germinação, o desenvolvimento e funcionalidade das raízes, conforme recomendação da Universidade Federal do Ceará (1993).

2.2 Água de irrigação

O poço freático está localizado nas proximidades da área experimental, ao lado de um riacho. O esgoto doméstico foi proveniente de domicílios do município de Aquiraz-CE. Para o tratamento do esgoto foi utilizado o sistema de lagoas de estabilização; composto por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação. As características da água de poço freático e do esgoto tratado utilizado na presente pesquisa encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Características da água de poço e do esgoto usados na irrigação das parcelas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), Aquiraz, CE, 2010

Tipos de água	pH	CEa	Na	Ca	Mg	K	Cl	NH ₄	P	ST	SST	SDT
		dS cm ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----									
Poço	6,0	0,208	19,2	16,0	16,2	10,1	37,7	0,0	0,2	219,3	6,8	214,8
Esgoto	7,8	0,727	53,7	45,4	28	26,2	92,5	7,7	12,8	520,6	15,2	547,5

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza-CE, 2010.

2.3 Sistema e de irrigação

O método de irrigação adotado foi do tipo localizado, sendo dois sistemas (um para irrigação com esgoto doméstico tratado, e outro para irrigação com água de poço freático) constituídos de: conjunto motobomba de 5 cv; cabeçal de controle, constituído por filtro de disco, tomada de pressão e registros; tubulações, linha principal, linha de derivação, nesta continha um cavalete com hidrômetro; gotejadores tipo autocompensantes, modelo katif, com vazão de 3,75 l h⁻¹ a uma pressão de serviço de 100 kPa.

2.4 Instalação e condução da cultura

2.4.1 Preparo da área e plantio

O preparo da área iniciou no dia 06 de maio de 2010 e constou de roçagem, gradagem cruzada e abertura dos sucros manualmente, com profundidade aproximada de 0,35 m e espaçamento de 1,2 m entre sucros. O plantio foi realizado em 13 de maio de 2010, com sobreposição total e ponta cabeça, e para melhorar a geminação, os colmos foram seccionados em segmentos de três gemas como também utilizado por (DALRI *et al.*, 2008). O plantio pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Foto ilustrativa do plantio da cana na área experimental. ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.4.2 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi feito por meio do tanque Classe A. Os dados climatológicos (evaporação e precipitação) foram obtidos “in loco”, por meio do tanque classe “A” e pluviômetro instalado próximo da área experimental (Figura 8). Nos primeiros 52 dias após plantio, todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação, objetivando estabelecer uma uniformidade no estande. As irrigações foram realizadas com turno de rega de dois dias. O tempo de irrigação era determinado pela lâmina a ser aplicada, correspondente à lâmina equivalente a 100% da ECA. Após o 52º dia depois da semeadura, deu-se a diferenciação dos tratamentos.

O tempo de irrigação para cada tratamento foi calculado com base nas informações de: evaporação do tanque classe “A” medida no período entre duas irrigações, espaçamentos da cultura, percentagem de área molhada, coeficiente de uniformidade de aplicação, vazão do emissor e fator de aplicação da água e em função dos tratamentos (Equação 1).

$$T_i = \frac{ECA \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot PAM \cdot F_t}{Cud \cdot q_e} \quad (1)$$

em que,

T_i – tempo de irrigação para cada tratamento, em h;

ECA – evaporação do tanque Classe A, em mm;

S_1 e S_2 – espaçamentos da cultura, entre plantas na linha e entre fileiras de plantas em m; PAM – percentagem de área molhada, em decimal (valor adotado 0,40);

F_t – fator de aplicação da água em função do tratamento, em decimal. Os valores de F_t foram 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 e 1,50 para os tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5 respectivamente;

Cud – coeficiente de uniformidade de aplicação em decimal. Valor encontrado na avaliação do sistema (0,90);

q_e – vazão média dos emissores em $L h^{-1}$.

Devido às altas precipitações registradas em maio de 2010 e entre Janeiro e Maio de 2011, não houve irrigação. As médias pluviométricas e lâminas de irrigações mensais durante o período de execução do experimento estão expostas no gráfico abaixo (Figura 3). Como em 13 maio de 2011 a cana-de-açúcar completou 1 ano de cultivo, foi decidido não mais irrigar para que a cultura, a partir de então, concentrasse açúcares, estágio de maturação da cultura, antes da realização da colheita.

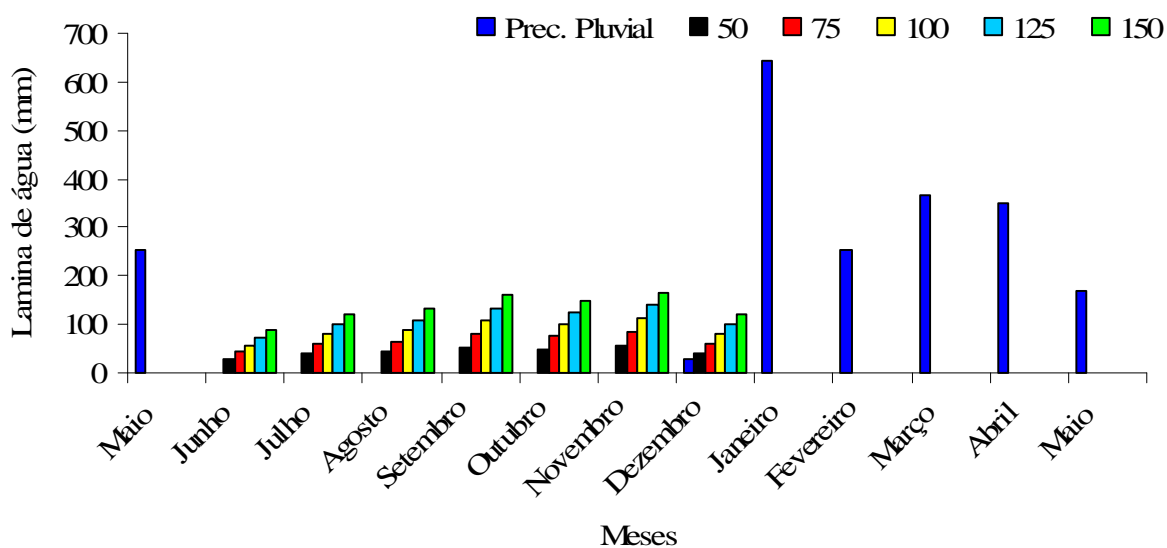


Figura 3 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento no período de maio de 2010 a maio de 2011 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, Aquiraz, CE, 2011.

2.4.3 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Durante o ciclo da cultura foram realizadas três capinas com auxílio de enxadas manuais, com o objetivo de eliminar as plantas infestantes e evitar a concorrência das mesmas com a cultura por água e nutrientes.

No início do período vegetativo foi registrado aparecimento isolado de pulgão; não foi utilizado nenhum controle químico, pois logo após seu aparecimento também foi registrada grande mortalidade do mesmo, que se deveu provavelmente ao ataque por seus inimigos naturais ou à resistência própria da cultura, como mencionado por Aranha; Yahn (1987) ao ressaltarem a resistência da cultura a fatores externos como as pragas.

2.4.4 Variáveis analisadas

Durante a execução do experimento foram coletados mensalmente dados das variáveis vegetativas, enquadradas na área útil do experimento. As variáveis vegetativas coletadas foram número de folhas, número de plantas por metro linear, altura de plantas, altura do colmo, diâmetro do colmo e número de internódios.

2.4.4.1 Diâmetro de colmo

Com o auxílio de paquímetro digital, foi mensurado o diâmetro basal do colmo, a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo. O diâmetro do colmo foi expresso em milímetros (mm), representado pela média das seis plantas (Figura 4).



Figura 4 – Fotos com detalhes da medição do diâmetro do colmo com paquímetro digital. ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.4.4.2 Número de plantas por metro linear

Foram selecionadas aleatoriamente duas secções, de 1 metro linear, totalizando 2 metros lineares, nas linhas úteis de plantas, marcadas com estacas para o monitoramento do

número de plantas por metro linear (Figura 5). O monitoramento deu-se mensalmente, a fim de avaliar a evolução do número de plantas em função do tempo.



Figura 5 - Foto ilustrativa da marcação com duas estacas, para determinação do número de plantas por metro linear. Aquiraz, CE, 2010.

2.4.4.3 Altura de plantas e colmo

Para mensurar a altura das plantas e colmos, utilizou-se uma trena flexível, graduada em centímetros, presa ao tubo de PVC. Assim como as demais variáveis vegetativas, a coleta de dados foi feita mensalmente. As médias das seis plantas foram expressas em centímetros e representadas como a média das plantas amostradas (Figura 6).



Figura 6 – Foto da medição da altura da planta na área experimental, ETE, Aquiraz, CE, 2010.

2.5 Análise estatística

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparadas usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade, e os de natureza quantitativa foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se ajustar equações com significados biológicos, sendo selecionados os modelos matemáticos que apresentaram melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação (R^2), utilizando-se para isso o software para análises estatísticas da Universidade Federal de Viçosa (2005) SAE 9.0 UFV e ASSISTAT 7.6 Beta da Universidade Federal de Capina Grande.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Diâmetro do colmo

De acordo com a análise de variância (Tabela 4), houve diferença significativa ($p < 0,01$) para diâmetro do colmo (DC) apenas aos 328 DAP, em função do tipo de água de irrigação (A). Já para os tratamentos lâminas de irrigação foi observado efeito significativo do DC a partir dos 238 DAP, sugerindo maior sensibilidade da cultura à disponibilidade hídrica do que ao tipo de água de irrigação. Dantas Neto et al. (2006) também observaram efeito significativo do diâmetro do colmo em função da disponibilidade hídrica. Aos 328 foi observada interação significativa, do tipo de água x lâmina de irrigação (A x B), indicando a dependência entre estes fatores.

Tabela 4 - Análise de variância para a variável diâmetro do colmo da cana-de-açúcar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função a dois tipos de água de irrigação: água de poço freático e esgoto doméstico tratado (A) e diferentes níveis de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2010/2011

Fonte de variação	GL.	Dias após o plantio									
		54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
		Quadrados médios									
Bloco	3	21,846ns	1,925ns	1,719ns	4,735ns	2,075ns	1,055ns	0,208ns	0,383ns	0,546ns	1,2394**
Tratamento A	1	4,178ns	3,386ns	0,113ns	11,597ns	3,850ns	0,298ns	3,678ns	0,764ns	6,214ns	12,492**
Resíduo A	3	11,858	2,680	2,775	2,0678	1,409	1,496	0,856	1,143	1,613	0,011
Parcelas	7										
Tratamento L	4	1,134ns	1,636ns	2,416ns	2,281ns	1,009ns	1,037ns	3,481**	2,989**	3,185**	22,156**
Interação AxL	4	0,471ns	2,101ns	1,850ns	1,014ns	0,589ns	0,267ns	1,332ns	1,026ns	1,107ns	3,177**
Resíduo L	24	1,278	1,040	0,924	1,307	0,538	2,019	0,520	0,561	0,749	0,410
Total	39										

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

Na comparação das médias, o maior diâmetro do colmo aos 328 dias foi de 26,94 mm, obtido com o efluente, diferenciando-se estaticamente do diâmetro obtido com água de poço freático, de 25,82 mm. Estes valores de DC foram superiores aos valores médios observados por Silva *et al.* (2009) de 23,8 mm e 22,1 mm para cana-de-açúcar, variedade SP-791011, sob cultivo de sequeiro e irrigada, respectivamente. Diferença que pode estar associada à variável genética, já que no presente trabalho foi utilizada a variedade SP 71 6949.

Até aos 207 DAP não foi verificada diferença significativa do diâmetro do colmo em função das lâminas de irrigação, revelando que provavelmente a lâmina referente a 50% da ECA até este período atenderia às necessidades hídricas da cultura. Outra hipótese seria de que esta variável vegetativa seria pouco influenciada pela condição hídrica da cultura, não sendo recomendada para expressar a real necessidade hídrica da cultural (Tabela 5). Entre os 237 e 296 DAP, foi verificado maior diâmetro do colmo (DC) para a lâmina correspondente a 150% da ECA, embora não tenha diferenciado estatisticamente do obtido com 75% e 125 % da ECA. Já aos 326 DAP os maiores DC foram obtidos com a lâmina equivalente 100% da ECA, não diferenciado-se estatisticamente do DC obtidos com 125% e 150% da ECA.

Tabela 5 – Diâmetro médio do colmo de cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, conforme evaporação do Tanque Classe “A”. Aquiraz, CE, 2010/2011

ECA (%)	Dias após o plantio									
	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
	Diâmetro médio de colmo (mm)									
50	15,51 a	25,41a	24,68a	24,18a	24,39a	24,67a	24,80b	25,11ab	24,70b	24,64b
75	14,71 a	25,72a	24,46a	24,90a	24,43a	25,66a	25,04ab	25,23ab	25,50ab	24,48b
100	15,28 a	25,17a	23,88a	24,31a	24,02a	25,24a	24,26b	24,22b	24,44b	27,63a
125	14,66 a	24,77a	24,18a	24,66a	24,31a	25,26a	25,30ab	25,04ab	25,06ab	27,70a
150	15,24 a	25,91a	25,3a	25,52a	25,00a	25,36a	26,05a	25,93a	26,02a	27,45a

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

De acordo com os resultados apresentados para característica em questão seria recomendada a lâmina referente a 50% da ECA até aos 207 DAP, aumentando para 75% da ECA a partir dos 207 DAP até aos 296 DAP e a partir deste período a lâmina recomendada seria de 100% da ECA.

Não foi encontrado um modelo matemático que ajustasse os dados de diâmetro do colmo em função dos dias. Porém, de acordo com a Figura 7, pode-se observar um incremento linear ascendente do diâmetro do colmo entre 54 e 85 DAP, independente da

lâmina de irrigação. A partir de então, entre o intervalo de 85 a 326 DAP, foi observado uma pequena variação do DC em função do tempo.

Segundo Azevedo (2002), o ciclo fenológico da cana-soca pode ser dividido em três fases: fase inicial de desenvolvimento, 120 dias; fase de máximo desenvolvimento, 150 dias e fase da maturação, 90 dias. Desta forma, esta variável vegetativa não seria uma boa referencia para representar o desenvolvimento da cultura ao logo do ciclo, já que, logo nos primeiros 85 dias a cultura expressou praticamente seu máximo desenvolvimento.

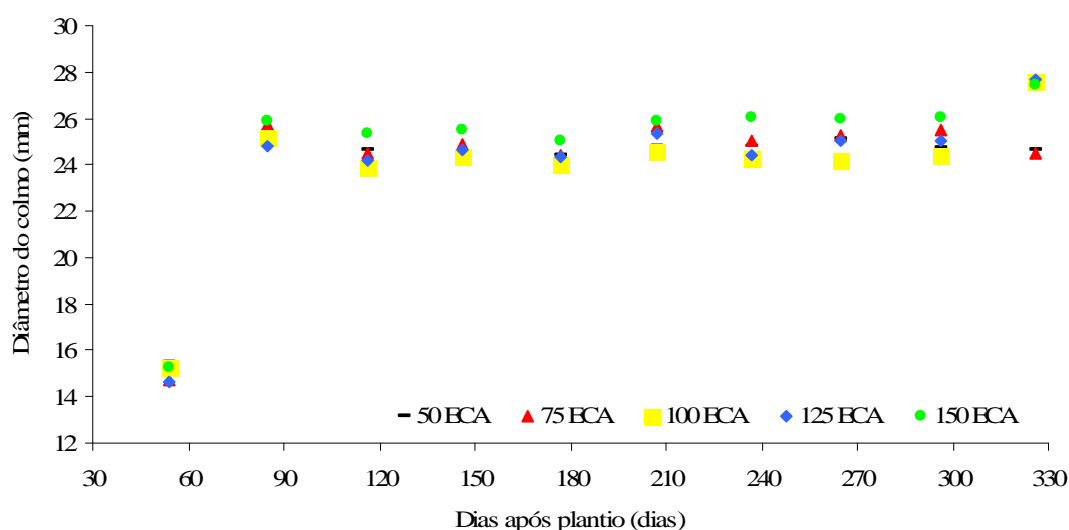


Figura 7 - Gráfico do diâmetro de colmo de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.

Corroborando com esse trabalho, Oliveira *et al.* (2010), caracterizaram duas fases de desenvolvimento do diâmetro do colmo, a primeira com o crescimento rápido e constante nos primeiros 90 dias e na segunda fase um pequeno aumento na espessura do colmo e permanecendo praticamente constante até os 360 DAP, obtendo valores médios de 25 mm.

Ao final do ciclo da cultura 328 DAP, foi observado incremento do DC em função do aumento das lâminas de irrigação. Por meio da análise de regressão foi observado que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de DC irrigado com água de poço freático foi o polinomial do terceiro grau (Figura 8). Porém, para água de reúso não foi encontrado um modelo matemático que se ajustasse aos dados.

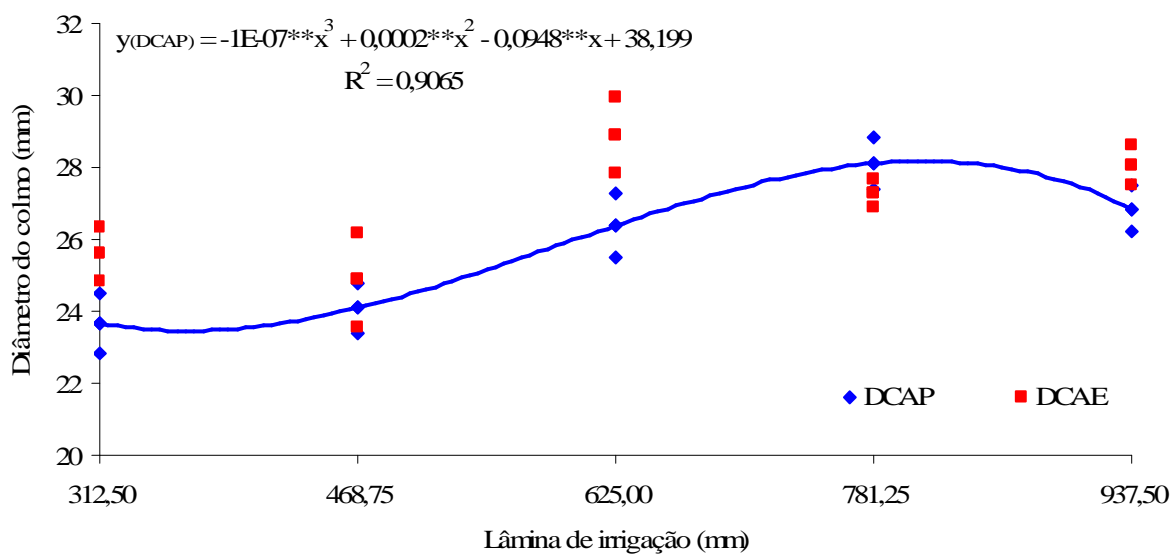


Figura 8 - Diâmetro do colmo de cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, para água de poço artesiano (DCAP) e água de efluente (DCAE) aos 328 DAP. Aquiraz, CE, 2010/2011.

3.2 Altura da planta

Para a variável altura da planta (AP), não foi observada diferença estatística ($p < 0,05$) entre 54 e 296 DAP, em função do tipo de água de irrigação (A) (Tabela 6). A partir dos 85 DAP, foi costatado efeito significativo ($p < 0,01$) da altura da planta em função das lâminas de irrigação (B). Houve interação significativa A x B apenas aos 326 DAP.

Tabela 6 - Resumo das análises de variâncias para a variável altura da planta de cana-de-açúcar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função dos dois tipos de água de irrigação, água de poço freático e esgoto doméstico tratado(A) e diferentes níveis de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2010/2011

Fonte de variação	GL.	Dias após o plantio									
		54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
		Quadrados médios									
Bloco	3	344ns	243,2ns	242,8ns	198,5ns	999,9ns	174,3ns	106,2ns	131,9ns	273,7ns	115,7
Tratamento A	1	681ns	1999,8ns	1997,5ns	462,4ns	133,2ns	444,4ns	1133,0ns	2038,5ns	2755,6ns	11334,
Resíduo A	3	152	353,5	776,8	745,8	1330,4	183,8	849,0	1796,1	1039,9	15,0
Parcelas	7										
Tratamento L	4	64,2ns	106,6ns	2508,9**	1920,5**	4005,3**	542,9ns	12240,9**	12352,3**	9015,9**	2779,4
Interação AxL	4	15,2ns	6,6*	110,1ns	347,3ns	511,0ns	881,2ns	355,9ns	484,1ns	735,7ns	1203,9
Resíduo L	24	24,4	59,7	159,4	146,3	272,9	1639,2	385,8	558,7	614,5	150,
Total	39										

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

De acordo com o teste de média, as maiores médias de AP, de 424 cm, foram observadas para água de efluente doméstico, em comparação ao obtido com irrigação com água de poço freático, de 390,3 cm.

A diferença estatística entre as alturas de plantas em função das lâminas de irrigação iniciou aos 116 DAP, revelando que a partir de então a disponibilidade hídrica passou a ser fator limitante no desenvolvimento vegetativo da cultura (Tabela 7). Corroborando com Rodrigues (1995), ao afirmar que o crescimento em altura da cana-de-açúcar é contínuo até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento. Aos 328 DAP, foi observada interação significativa entre o tipo de água x lâmina de irrigação (A x B), indicando a dependência entre estes fatores.

Independentemente do período, o tratamento 150% ECA apresentou maiores alturas médias de planta, embora nos períodos de 54, 85 e 207 DAP não foram observadas diferenças estatísticas da altura de planta em função das lâminas de irrigação. Já aos 146, 177, 265, e 326 DAP, embora a altura máxima tenha sido obtida com a lâmina de irrigação referente a 150% da ECA, esta não diferiu da altura observada para 125% da ECA (Tabela 7). Aos 328 DAP, a altura de 392,5 cm obtida com o tratamento 50% da ECA foi superior ao observado por Deon (2010), de 240,4 cm e 292 cm, para a cana (SP 90-3414) cultivada sob sequeiro e irrigada com 200% da evapotranspiração da cultura.

Tabela 7 – Altura média de planta de cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, baseada na evaporação do Tanque Classe “A”. Aquiraz, CE, 2010/2011

ECA	Dias após o plantio									
	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
Altura média de planta (cm)										
50	94,0a	167,0a	179,0c	191,0b	179,6b	200,2a	194,3c	229,5b	300,8c	392,5cd
75	93,3a	165,3a	176,7c	189,7b	174,4b	215,3a	199,6c	241,8b	297,4bc	385,0d
100	99,5a	169,5a	189,3bc	197,3b	182,7b	210,6a	213,1bc	255,3b	289,4c	407,5bc
125	92,4a	171,3a	201,2ab	216,6a	209,8a	204,9a	236,4b	294,9a	331,8b	422,5ab
150	93,6a	174,6a	219,7a	223,6a	226,1a	221,1a	290,4a	323,9a	370,8a	428,3a

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com a análise de regressão, em todos os tratamentos de lâmina de irrigação o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de altura da planta foi o polinomial do terceiro grau (Figura 8). Foi observada, no período de 120 a 237 DAP (setembro a dezembro) uma intensa diferenciação das AP obtidas com 125 e 150% da ECA, quando comparadas às AP obtidas com os tratamentos 50, 75 e 100% da ECA. A limitação do

crescimento e a proximidade entre as alturas de planta dos tratamentos 50, 75 e 100% da ECA devem-se provavelmente a restrição hídrica, já que: neste período a cultura se encontrava em intenso crescimento vegetativo e as variáveis meteorológicas também favoreciam com restrição hídrica, com a escassez pluviométrica, diminuição da umidade relativa do ar, aumento da temperatura e velocidade do vento.

A recuperação do desenvolvimento da cultura irrigada com as menores lâminas 50, 75 e 100 ECA aos 328 DAP podem ser justificadas pelas grandes precipitações pluviométricas registradas entre 238 e 328 DAP (Janeiro a abril) de aproximadamente 1.618,4 mm. Oliveira *et al.* (2005), avaliando taxas de crescimento de três cultivares de cana-de-açúcar no Paraná, observaram que a maior taxa de crescimento da cultura concentrou-se entre 323 e 377 DAP. Desta forma, o favorecimento hídrico neste período seria de fundamental importância para o bom desenvolvimento da cultura.

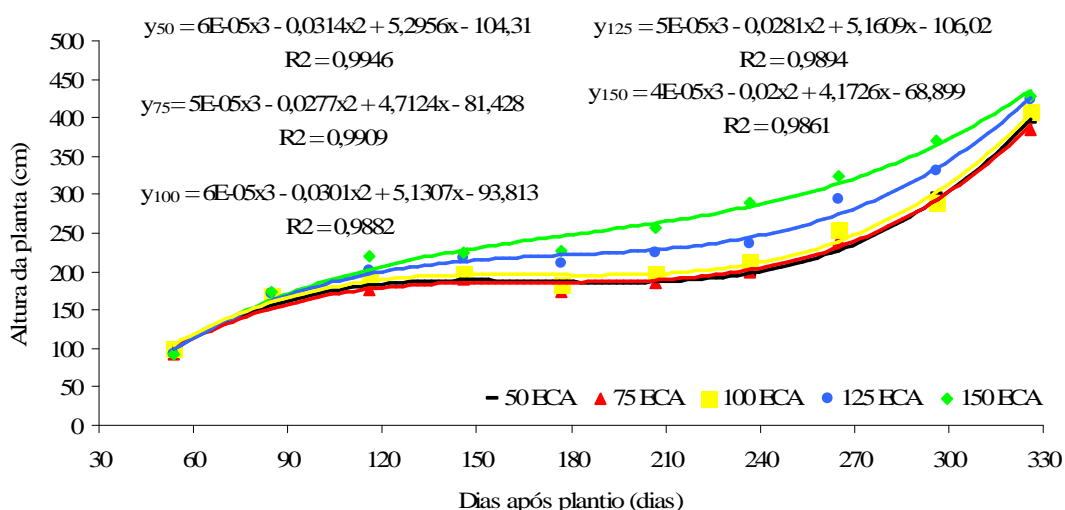


Figura 9 - Gráfico da altura de planta de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função do dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/201.

O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de altura da planta em função as lâminas de irrigação para os dois tipos de água de irrigação foi o polinomial do terceiro grau (Figura 10).

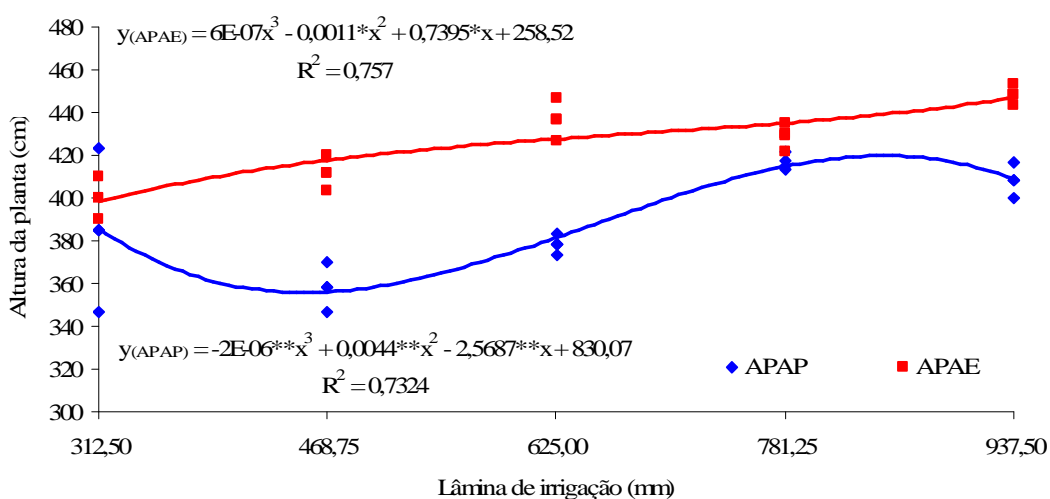


Figura 10 - Altura da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, para água de poço artesiano (DCAP) e água de efluente (DCAE) aos 328 DAP. Aquiraz, CE, 2010/2011.

Independente da disponibilidade hídrica, as alturas da cana-de-açúcar irrigada com água de reúso foram sempre maiores, quando comparadas com as plantas irrigadas com água de poço freático.

O aumento da disponibilidade hídrica favoreceu positivamente a altura de planta. Porém, de acordo com as equações obtidas para estimar as alturas de plantas irrigadas com água de poço freático e efluente, não foi possível determinar o ponto de máxima no intervalo de estudo.

3.3 Comprimento do colmo

Na Tabela 8 estão expostas as análises de variâncias para a comprimento do colmo. Não foi verificada diferença estatística ($p < 0,05$) entre 54 e 296 DAP, em função do tipo de água de irrigação (A). Aos 326 DAP, foi observada diferença significativa ($p < 0,01$) quanto ao tipo de água (Tabela 8). A partir dos 116 DAP foram verificadas diferenças estatísticas ($p < 0,01$) do comprimento do colmo em função das lâminas de irrigação. Aos 328 DAP, foi observada interação significativa entre o tipo de água x lâmina de irrigação (A x B), indicando a dependência entre estes fatores.

Tabela 8 - Resumo da análise da variância para o comprimento do colmo de cana-de-açúcar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função a dois tipos de água de irrigação, água de poço freático e esgoto doméstico tratado (A) e diferentes níveis de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2010/2011

Fonte de variação	G	Dias após o plantio										
		L	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
		Quadrados médios										
Bloco	3	-	106,9	111,66	396,20	108,6	203,8	16,399	196,13	486,427	0,118ns	
Tratamento A	1	-	45ns	8ns	6ns	03ns	10ns	*	1ns	ns	s	
			144,5	235,14	655,56	439,1	2,916	120,71	77,223	861,595	9445,3	
Resíduo A	3	-	900ns	4ns	0ns	27ns	ns	8ns	ns	ns	88**	
			104,9	235,29	544,69	743,4	38,33	276,93	456,70	1568,24	5,807	
Parcelas	7											
Tratamento L	4	-	44,70	274,40	1009,8	2458,	384,7	8605,1	8893,9	12702,8	4856,7	
			15ns	3**	28**	401**	11ns	73**	51**	27**	91**	
Interação AxL	4	-	9,021	36,864	132,04	340,5	441,9	406,26	232,27	723,649	1254,8	
			ns	ns	7ns	75ns	08ns	2ns	5ns	ns	78**	
Resíduo L	4	-	23,19	61,425	101,88	129,7	837,0	221,15	306,97	578,988	214,31	
			8		0	22	29	5	3		5	
Total	39											

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

A maior média de altura de colmo (274,27 cm) foi observada para cana-de-açúcar irrigada com água de reúso, quando comparada à obtida com água de poço freático, de 243,53 cm. Estes valores estão próximos ao observado por Coelho *et al.* (2002), que, trabalhando com a cana-de-açúcar em Pompeu, MG, observaram altura média de colmo em torno de 253,7 cm.

Em todo o período avaliado os maiores comprimentos de colmo foram obtidos com a lâmina referente a 150% ECA, diferenciando-se estatisticamente entre 238 e 297 DAP (Tabela 9). Aos 328 DAP, não foi verificada diferença estatística dos comprimentos de colmos obtidos com 125 e 150% ECA.

Tabela 9 – Comprimento médio do colmo da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação, baseada na evaporação do Tanque Classe “A”. Aquiraz, CE, 2010/2011

ECA	Dias após o plantio									
	54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
	Comprimento médio do colmo (cm)									
50	-	19,2a	40,1b	52,4c	65,4b	81,3 a	89,3c	112,9c	163,8c	237,6bc
75	-	20,4a	38,8b	49,9c	63,7b	98,1a	91,4c	115,6c	160,8c	232,9c
100	-	20,3a	45,5ab	57,3bc	72,3b	94,0 a	104,5c	133,0bc	176,3c	256,3b
125	-	23,3a	48,1ab	69,2ab	90,2a	92,7 a	128,0b	157,1b	217,0b	279,2a
150	-	24,8a	53,0a	76,1a	104,3a	98,4 a	168,1a	192,9a	253,2a	288,6a

*Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Aos 326 DAP, a lâmina de irrigação referente a 75% da ECA proporcionou comprimento de colmo de aproximadamente 232,91 cm, valor próximo ao máximo observado por Dantas Neto *et al.* (2006) de 229,67 cm, obtido com lâmina de irrigação de 1164 mm, com turno de rega de 12 dias e adubação nitrogenada de 305 kg ha⁻¹, distribuídos em quatro aplicações, sendo uma de fundação e três de cobertura. Os bons resultados observados, no presente trabalho para esta variável devem-se provavelmente ao manejo da irrigação, com turno de rega de 2 dias e da prática da fertirrigação.

Houve incremento de aproximadamente 17,7% no comprimento do colmo com o aumento das lâminas de 50% da ECA para 150% da ECA. Corroborando com Dantas Neto *et al.* (2006), ao observarem incremento de 18,8% sob adubação e 305 kg de N ha⁻¹, com aumento da lâmina de irrigação de 807 mm para 1.164 mm. Quanto mais severo for o déficit hídrico maior serão as perdas de produção. Gonçalves (2010) constatou que a cana-de-açúcar, quando submetida ao déficit hídrico severo, obteve uma redução média 35,9% em relação à altura do colmo.

O modelo que melhor se ajustou aos dados de altura do colmo para todos os tratamentos de lâmina de irrigação em função do tempo (DAP) foi o polinomial do terceiro grau (Figura 11). A partir dos 85 DAP (julho de 2010), pode-se observar a diferenciação entre o comprimento de colmo para cada tratamento com a evolução, do tempo de plantio, sendo mais expressivo aos 265 DAP (janeiro). A partir de então foi observada diminuição desta diferença. A provável explicação para este fenômeno pode ter sido as altas precipitações pluviométricas entre os meses de janeiro a março de 2011.

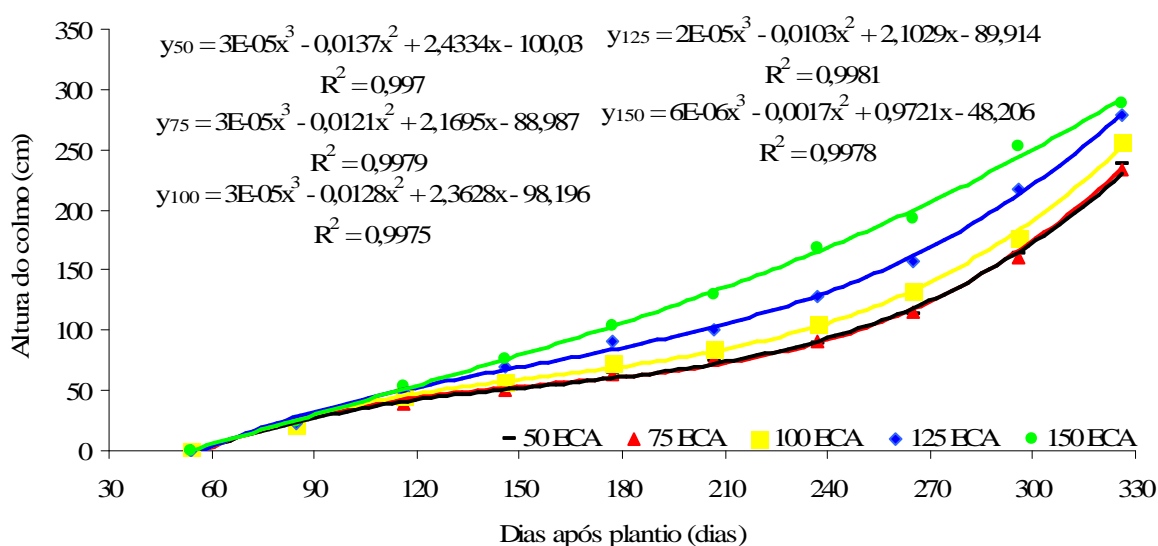


Figura 11 - Gráfico de comprimento de colmo de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.

De acordo com a análise de regressão, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de altura do colmo em função da lâmina de irrigação, para os dois tipos de água foi o polinomial do terceiro grau (Figura 11). Assim como observado para altura de planta, a altura de colmo da cana irrigada com efluente foi sempre superior à irrigada com água de poço freático. Esta superioridade aumentou com o incremento da disponibilidade hídrica, o que pode ser justificado provavelmente pelo aumento da disponibilidade de nutrientes presentes na água de reúso. Corroborando com Nobre *et al.* (2010), ao afirmarem que a água de reúso, além de suprimento hídrico, favorece como aporte de nutrientes. Dentre os nutrientes presentes nos esgotos domésticos e que podem favorecer o desenvolvimento das plantas estão os macronutrientes (N, P e K) e micronutrientes como As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn (GUIDOLIN, 2000). Deon (2010), relata que a irrigação com esgoto doméstico tratado pode fornecer até 163 kg ha^{-1} de N, 14 kg ha^{-1} de P, 145 kg ha^{-1} de K, 80 kg ha^{-1} de

Ca, 28 kg ha⁻¹ de Mg, 207 kg ha⁻¹ de S, 0,45 kg ha⁻¹ de B, 0,07 kg ha⁻¹ de Cu, 0,25 kg ha⁻¹ de Fe e 0,18 kg ha⁻¹ de Mn, relevando as vantagens agronômicas e ambientais.

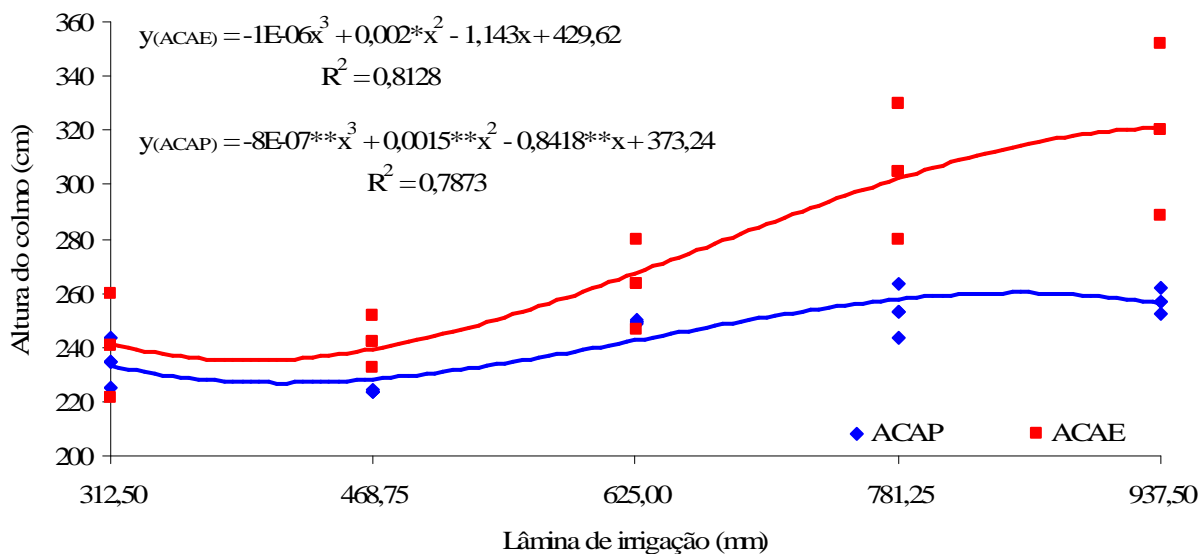


Figura 12- Gráfico de comprimento de colmo de cana-de-açúcar irrigado com água de poço freático (ACAP) e esgoto doméstico tratado (ACAE) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2010/2011.

O aumento da disponibilidade hídrica, nos dois tipos de água de irrigação, proporcionou incremento da altura de colmo, sendo as maiores alturas de colmo 243,21 e 291,89 cm estimadas para cana irrigada com água de poço e efluente, respectivamente, obtidas com a máxima lâmina de irrigação 937,6 mm (Figura 12). Corroborando com Marciel *et al.* (2002), que trabalhando com cana-soca, em solo de cerrado, no município de Pompeu, MG, verificaram comprimento médio de 102,2 cm sem irrigação e 253,7 cm com irrigação, um aumento de quase 150%. Azevedo (2002), trabalhando com regimes de irrigação em cana-de-açúcar, observou que a cultura teve um aumento de 25% no comprimento do colmo em relação ao regime sem irrigação.

3.4 Número de plantas por metro linear

A análise de variância do número de plantas por metro linear pode ser observada na Tabela 10. Não foi constatado efeito significativo ($p < 0,05$) do tratamento tipo de água para

irrigação. Para o tratamento lâmina de irrigação, houve efeito significativo do número de plantas por metro linear ($p < 0,05$) apenas aos 238 DAP. Dantas Neto *et al.* (2006) também não observaram efeito significativo do número de plantas por metro linear em função do favorecimento hídrico.

Tabela 10 - Resumo da análise da variância para o número de plantas por metro linear (NP) de cana-de-açúcar cultivada sob dois tipos de água de irrigação, poço freático e esgoto (A) e cinco lâminas de irrigação (B). Aquiriza, CE, 2010/2011

Fonte de variação	G	Dias após o plantio									
		54	85	116	146	177	207	238	269	297	328
		Quadrados médios									328
Bloco	3	8,292ns	7,217ns	1,856ns	5,242ns	10,67ns	1,606ns	2,439ns	46,867ns	5,246ns	40,225ns
Tratamento A	1	28,900ns	12,100ns	3,306ns	0,000ns	0,756ns	8,556ns	8,711ns	11,378ns	3,403ns	10,336ns
Resíduo A	3	5,000	3,717	3,223	4,217	2,273	1,490	8,472	9,155	1,638	7,803
Parcelas	7										
Tratamento L	4	7,275ns	6,022ns	1,694ns	0,475ns	3,353ns	0,900ns	3,739*	3,511ns	5,714ns	2,824ns
Interação A x L	4	1,025ns	4,147ns	1,150ns	0,500ns	1,928ns	1,837ns	3,017ns	7,211ns	18,797ns	6,399ns
Resíduo L	2	7,979	6,784	2,493	3,083	2,645	3,381	1,289	4,143	8,319	3,910
Total	39										

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

O modelo matemático que melhor ajustou-se aos dados do número de plantas por metro linear em função do tempo (DAP) foi o quadrático, para todos os tratamentos de lâmina de irrigação (Figura 13). A diminuição do número de plantas pode estar relacionada à competitividade, com o desenvolvimento vegetativo. Provavelmente devido ao tipo de irrigação localizada (pontual), as plantas mais próximas do gotejador podem ter se beneficiadas com maior disponibilidade de água e nutrientes. Desta forma, as plantas que se desenvolveram mais rapidamente sombrearam as menos desenvolvidas, provocando morte. Corroborando com Oliveira *et al.* (2004), ao constatarem, avaliando o crescimento e desenvolvimento de três cultivares da cana-de-açúcar no estado do Paraná, que depois do sexto mês após o plantio, se iniciou uma redução no número de perfilhos, decorrente da competição, por luz, área, água e nutrientes refletindo-se, assim, na diminuição e paralisação do processo de propagação de plantas, além da morte dos perfilhos mais jovens. Oliveira *et al.* (2010) constatarem redução em torno de 50% no número de perfilhos. É típico da cultura um intenso perfilhamento no início do desenvolvimento, registrando em seguida o abortamento de parte dos perfilhos (SIMÕES *et al.*, 2005).

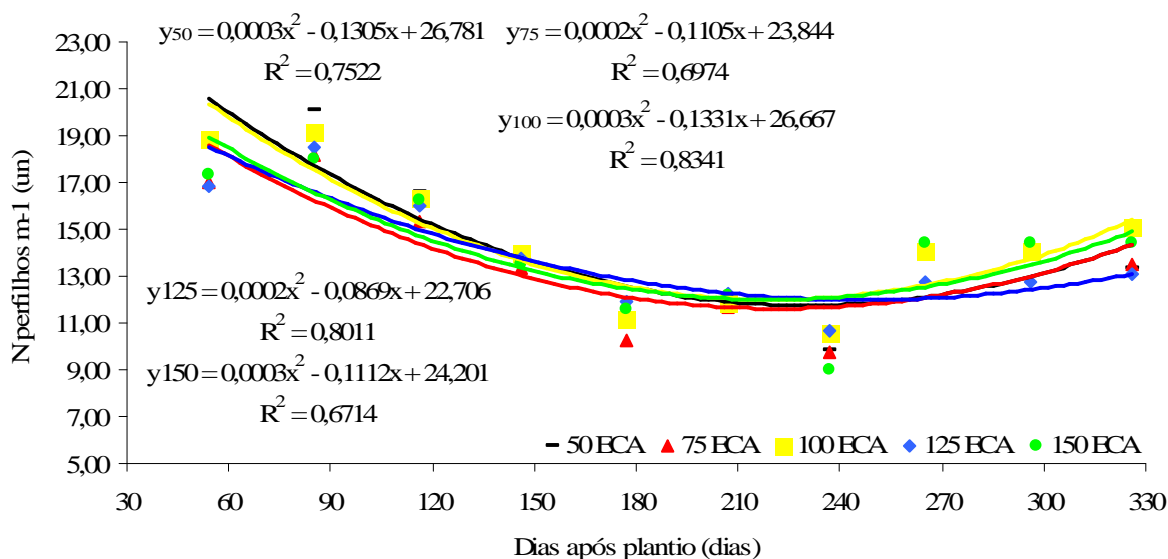


Figura 13 - Gráfico do número de colmos por metro linear de cana-de-açúcar das cinco lâminas de irrigação em função dos dias após o plantio. Aquiraz, CE, 2010/2011.

A média de plantas por metro linear, aos 328 DAP, foi de aproximadamente 13,77 plantas m^{-1} , o que resulta em 91.826,7 colmos ha^{-1} . Para Taupier; Rodrigues (1999), as máximas produções em cana-de-açúcar são obtidas com uma densidade populacional de

90.000 colmos ha^{-1} . O rendimento de plantas por metro linear, obtido aos 328 dias observados no presente trabalho, foi superior ao estimado por Oliveira *et al.* (2005) de 7,44; 9,02 e 8,64 plantas m^{-1} para as variedades RB 72454, RB 855113 e RB 855536, respectivamente, aos 328 DAP. Já Dalri *et al.* (2008), trabalhando com a RB 72454, observaram rendimentos de plantas, bem superiores ao observado no presente trabalho, de 26,12 plantas m^{-1} .

4 CONCLUSÕES

A irrigação com esgoto doméstico tratado proporcionou maiores resultados de diâmetro do colmo, altura da planta e altura de colmo.

Há um intenso crescimento do diâmetro do colmo entre 54 e 85 DAP. Já para as variáveis altura da planta e do colmo este intenso crescimento ocorre entre 270 e 328 DAP.

O aumento da disponibilidade hídrica favorece o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar. As maiores alturas de planta e de colmo foram obtidas com a lâmina de irrigação referente a 150% da ECA (937,5 mm).

Considerando os bons resultados obtidos para as variáveis vegetativas da cana irrigada com esgoto doméstico tratado recomenda-se o reúso de água para irrigação da cultura.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANHA, C.; YAHN, C.A. **Botânica da cana-de-açúcar**. In: PARANHOS, S.B. (Coord). Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p1-18.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a doses de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para agricultura**. 2003. 625 f. Monografia (Especialização em Planejamento Estratégico) – Fundação Getúlio Vargas, Brasília, 2003.

BRASIL. **Plano nacional sobre mudança do clima**. 2007. Disponível em: <http://www.dialogue4s.de/_media/Brazil_National_Climate_Change_Plan.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2010.

COELHO, M. B. *et al.* Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 591-598.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. de. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolo, variedades RB 8354 e SP813259. **STAB – Açúcar, Alcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p.32-36, 2006.

DALRI, A. B. *et al.* Irrigação de gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DANTAS NETO, J. *et al.* Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

DOORENBOS, J; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**: riego e drenaje. Roma: RAO, 1979. 212 p.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio e Janeiro: Atual, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

GONÇALVES, F. M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

GUIDOLIN, J. C. **Reúso de efluentes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/17.pdf>>. Acesso em: 22 mar 2011.

MARCIEL, M. L. *et al.* Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002.

MAULE, R. F.; MAZZA, A. J.; MARTHAR JÚNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

NOBRE, R. G. *et al.* Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A. *et al.* Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de

cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agraria**, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 1/2, p. 87-94, 2004.

OLIVÉRIO, J. L. **Brazilian sugar cane sector: evolution, trends, sustainability**. São Paulo: [s. n.], 2008.

RODRIGUES, J. D., **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/6301126/Canadeacucar-Ecofisiologia>>. Acesso em: 7 jun. 2011.

SILVA, C. T. S. *et al.* Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 3-12, 2009.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Indicadores de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 23-30, 2005

TAUPIER, L. O. G.; RODRIGUES, G. G. A cana-de-açúcar. *In*: INSTITUTO CUBANO DE PESQUISA DOS DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, 1999. cap. 2.1, p. 21-27.

CAPÍTULO 6

Uso de esgoto doméstico tratado como fonte hídrica alternativa para produção da cana-de-açúcar

RESUMO

Diante do grande consumo de água na produção agrícola e da expansão do cultivo da cana-de-açúcar, impulsionada pelo aumento da demanda do etanol, tem-se questionado o uso mais racional da água na irrigação e a utilização das águas residuárias para produção agrícola. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do esgoto doméstico na irrigação da cana-de-açúcar. O trabalho foi conduzido no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, em Aquiraz, CE. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação (água de poço freático e esgoto); nas subparcelas foram distribuídas cinco lâminas de irrigação baseadas em percentuais da evaporação do tanque classe A (ECA), que corresponderam à multiplicação da ECA pelos fatores 0,5; 0,75; 1,00; 1,25 e 1,50. O maior potencial produtivo de colmo ($272,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) e densidade de plantas (126.000) foi obtido com a irrigação de esgoto, com a lâmina de 937,6 mm referente a 150% da ECA. O aumento da lâmina de irrigação proporcionou incremento do potencial produtivo e densidade de plantas nos dois tipos de água de irrigação. Para irrigação com água de poço a disponibilidade hídrica também acarretou aumento do brix.

Palavras-chave: reúso de água, gotejamento, *Saccharum officinarum* L.

Use of treated domestic wastewater as alternative water source for the production of cane sugar

ABSTRAT

With the large consumption of water in agricultural production and expansion of the sugar cane crop and a growth of demand for ethanol, has questioned the rational use of water for irrigation and use of sewage water for agricultural production. Then, this study evaluated the influence of domestic sewage for irrigation of sugar cane. This work was carried at the Center for Research on Treatment and Reuse sewage water in Aquiraz, CE. The statistical design used was randomized blocks in split plots with four replications. In the plots, we evaluated the effect of two types of irrigation water (well water and sewage water); subplots were distributed in five irrigation based on percentage of evaporation class "A" PAN, which corresponded to the multiplication of ECA by factors 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 and 1.50. The greatest productive potential of stem (272.1 Mg ha^{-1}) and plant density (126,000) was obtained with irrigation by sewage water, with the irrigation level of 937.6 mm referring to 150% of ECA. The increase of irrigation level provided increase in potential production and plant density in both types of irrigation water. For irrigation with well water to water availability also led to increased brix.

Keywords: water water, drip irrigation, fertilization

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) do mundo, com produção aproximada de 514 milhões de toneladas por ano, seguido da Índia e da China, com 356 milhões de toneladas e 106 milhões de toneladas, respectivamente (BRASIL, 2009). O Nordeste brasileiro representa apenas 11,8% da produção nacional e o Ceará contribui com aproximadamente 0,16% da produção canavieira do Nordeste (BRASIL, 2008). Esta baixa participação deve-se principalmente às baixas e irregulares precipitações pluviométricas anuais registradas no Nordeste, em torno de 750 mm, sendo esta ineficaz às exigências hídricas da cana-de-açúcar de 1.500 a 2.500 mm (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Desta forma, a prática da irrigação torna-se fundamental para a produção de cana-de-açúcar no Ceará.

Gonçalves (2010), trabalhando com a cultura da cana-de-açúcar, variedade SP716949, em Paraipaba, CE, irrigada por gotejamento subsuperficial, constatou consumo hídrico de 1.074,12 mm. Farias et al. (2009) observou efeito significativo da produção de colmos em função do uso da irrigação, obtendo incremento de 28,26 Mg ha⁻¹, quando comparado com a produção de sequeiro. Corroborando com Dantas Neto *et al.* (2006), ao observar acréscimo de 21,67 Mg ha⁻¹ na produção de colmos da cana irrigada, quando comparada a de sequeiro.

Há forte correlação entre a lâmina de água de irrigação e as variáveis que definem a qualidade da cana-de-açúcar (FARIAS *et al.*, 2009). Azevedo (2002) observou para a variedade SP79-1011, nos tabuleiros costeiros da Paraíba, produtividades de 52, 79, 93 e 92 t ha⁻¹, com as disponibilidades hídricas referentes a 609, 761, 905 e 1043 mm, respectivamente, com doze meses de cultivo.

Embora haja uma tendência do incremento das variáveis produtivas com o aumento da disponibilidade hídrica, o excesso de água no solo também pode ser prejudicial à produção de colmos. Dantas Neto *et al.* (2006), trabalhando com a cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e adubação, observaram melhores resultados para as variáveis de produção: Rendimento de colmos; °Brix; e álcool, de 104 Mg ha⁻¹, 18,67% e 10,00%, respectivamente, obtidos com a lâmina de irrigação de 1164 mm, foram superiores aos observados com a lâmina de 1343 mm.

Diante da expansão do cultivo da cana-de-açúcar, impulsionada pelo aumento da demanda do etanol, e o excessivo consumo hídrico da cultura, recentemente tem-se

pesquisado o uso de águas residuárias para irrigação da cana-de-açúcar. De acordo com Deon (2010), a irrigação da cana, primeira soca, com esgoto doméstico tratado pode proporcionar incremento de até $19,84 \text{ Mg ha}^{-1}$. Ainda segundo o autor, além de suprimento hídrico o esgoto pode favorecer com aporte de nutrientes de até 163 kg ha^{-1} de N, 14 kg ha^{-1} de P, 145 kg ha^{-1} de K, 80 kg ha^{-1} de Ca, 207 kg ha^{-1} de Mg e $0,45 \text{ kg ha}^{-1}$ de S, ratificando os possíveis ganhos ambientais e econômicos.

Brandão *et al.* (2002), trabalhando com 16 estações de tratamento do estado do Ceará, avaliando a qualidade do efluente tratado em lagoas de estabilização para o uso na produção agrícola, constataram que as lagoas de estabilização são eficientes no tratamento de esgotos domésticos, atendendo às recomendações da Organização Mundial da Saúde. Contudo, os referidos autores recomendam o uso de esgotos tratados em irrigação de culturas não alimentícias. Diante do exposto, o presente trabalho visa avaliar o desempenho produtivo da cana-de-açúcar para produção de etanol sob dois tipos de água para irrigação e cinco lâminas de irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de maio de 2010 a agosto de 2011, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, mantido pela Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE) e Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Aquiraz-CE, Região Metropolitana de Fortaleza-CE, com as seguintes coordenadas 3° 54' 05" de latitude sul e 38 ° 23' 28" longitude oeste de Greenwich a uma altitude de 14,2 m. O clima da região é classificado segundo Köppen como Aw correspondendo a Tropical chuvoso, com uma precipitação média anual de 1379,9 mm e temperatura média anual de 27°C (FUCEME/IPECE, 2006).

Foram coletadas amostras de solo da área experimental, das camadas 0-25 e 25-50 cm, em seguida, enviadas ao Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, para caracterização dos atributos físico-hídricos e químicos (Tabelas 1 e 2). O solo foi classificado como Argissolo, textura franca arenosa média e relevo plano (EMBRAPA, 2006).

Tabela 1 - Características físico-hídricas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010

Profundidade	Densidade		CEes.	pH	Umidade do solo		Classificação textural
cm	-----kg dm ⁻³ -----		(dS m ⁻¹)	água	-----m ⁻³ m ⁻³ -----		
	Solo	Partícula			33 Kpa	1500 Kpa	
0-25	1,52	2,65	0,23	6,5	3,64	2,42	Areia
25-50	1,54	2,69	0,15	6,0	3,53	2,48	Areia

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza-CE, 2010.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental em Aquiraz, CE, 2010

Prof. cm	N g kg ⁻¹	C g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	M.O mg kg ⁻¹
				-----mg dm ⁻¹ -----						
0-25	0,5	5,04	74	87	1,0	0,7	0,15	1,32	6	8,69
25-50	0,3	3,72	30	50	1,6	0,5	0,15	1,48	3	6,41

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza-CE, 2010.

A área total ocupada pelo experimento foi de 1248 m². Cada tratamento era composto por 4 linhas de 6 m de planta, com espaçamento de 1,2 m, em que as 2 linhas centrais foram consideradas úteis e as 2 externas, bordaduras. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas (split-plot) com dois tratamentos na parcela, cinco nas subparcelas, com quatro repetições. As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AP; e esgoto doméstico tratado - E). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe "A" (ECA): L1 = 50% ECA; L2 = 75% da ECA; L3 = 100% da ECA; L4 = 125% da ECA e L5 = 150% da ECA.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a SP-716949, por ser adaptada ao clima da região Nordeste do Brasil, cuja cana-semente foi doada pela Empresa Ypióca situada em Paraipaba, CE.

O preparo do solo iniciou-se com uma roçagem, gradagem cruzada. Os sucros foram abertos manualmente, com profundidade aproximada de 0,35 m e espaçamento de 1,2 m entre sucros. Conforme adotado por Silva *et al.* (2009a) e Dantas Neto *et al.* (2006), o plantio foi realizado em 13 de maio de 2010, com sobreposição total e ponta cabeça, deixando uma média de 18 gemas por metro linear; os colmos foram picados em roletes.

A adubação foi determinada conforme a análise química do solo e as exigências nutricionais da cultura. Foram aplicados o equivalente a 150 kg de N ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹, e 120 kg de K₂O ha⁻¹, usando-se como fonte de nutrientes a uréia, fosfato monoamônio (MAP) e sulfato de potássio, respectivamente. Os fertilizantes foram distribuídos, por fertirrigação, durante a fase vegetativa da cultura. Para suprir possíveis deficiências de micronutrientes foram aplicados 12 kg de FTE – BR 12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo) sendo 5 g.m⁻¹, na fundação, 10 Mg ha⁻¹ de esterco bovino, conforme recomendação da Universidade Federal do Ceará (1993).

O esgoto doméstico foi proveniente de domicílios do município de Aquiraz-CE. Para o tratamento do esgoto foi utilizado o sistema de lagoas de estabilização, composto por; uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação (CAGECE, 2011). As características da água de poço freático e do esgoto doméstico tratado estão espostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Características da água de poço e do esgoto usados na irrigação das parcelas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L), Aquiraz, CE, 2010

Tipos de água	pH	CEa	Na	Ca	Mg	K	Cl	NH ₄	P	ST	DBO	DQO
		dS cm ⁻¹	mg L ⁻¹							mg O ₂ L ⁻¹		
Poço	6,0	0,208	19,2	16,0	16,2	10,1	37,7	0,0	0,2	219,3	16,6	72,6
Esgoto	7,8	0,727	53,7	45,4	28	26,2	92,5	7,7	12,8	520,6	36,7	111,8

Fonte: Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Fortaleza-CE, 2010.

Foram adotados dois sistemas de irrigação por gotejamento independentes (um para irrigação com o esgoto doméstico tratado e o outro para irrigação com água de poço freático) constituídos de: conjunto motobomba de 5 cv; cabeçal de controle, constituído por filtro de disco, tomada de pressão e registros; tubulações, linha principal, linha de derivação, que continha um cavalete com hidrômetro; Nas linhas laterais foram conectados gotejadores

tipo autocompensantes, modelo katif, com vazão de $3,75 \text{ l h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 100 kPa.

Nos primeiros 52 dias após o plantio (DAP), todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação, referente a 100% da evaporação do tanque classe “A” (ECA), objetivando estabelecer uma uniformidade do estande. As irrigações foram realizadas com turno de rega de dois dias. Após o 52° DAP, deu-se a diferenciação das lâminas de irrigação.

Devido às altas precipitações registradas nos meses de maio de 2010 e entre Janeiro e Maio de 2011, não foram realizadas irrigações. As médias pluviométricas e lâminas de irrigações mensais durante o período de execução do experimento estão expostas no gráfico abaixo (Figura 1). Como em 13 maio de 2011 a cana-de-açúcar completou 1 ano de cultivo, foi decidido não mais irrigar, para que, a partir de então houvesse acúmulo de açúcares, estágio de maturação da cultura.

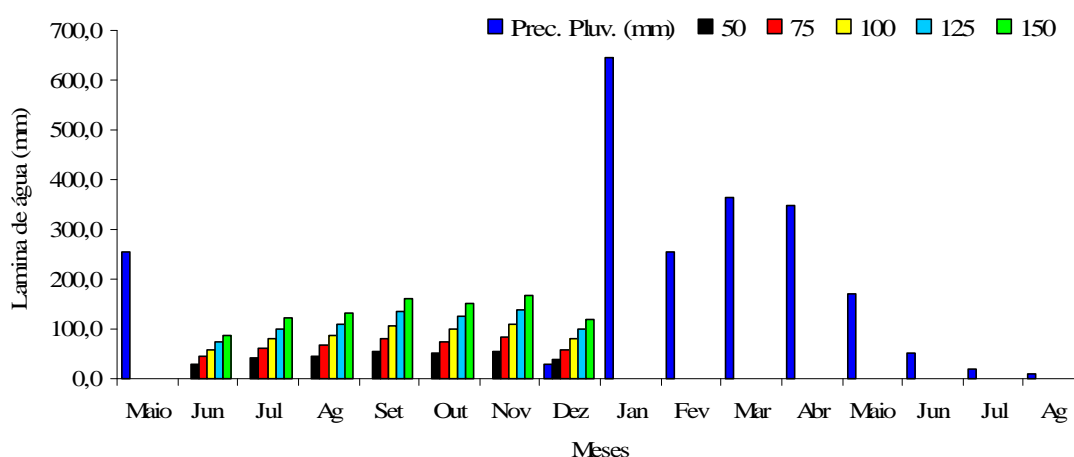


Figura 1 - Médias mensais da precipitação pluvial e lâmina de irrigação registrada durante a condução do experimento no período de maio de 2010 a 7 de agosto de 2011 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, Aquiraz, CE.

Com o intuito de colher a cana com 12 meses após o plantio, a partir de março de 2011 foi monitorado o Brix entre intervalos de 15 dias. Provavelmente, as precipitações ocorridas entre os meses de março a maio prolongaram o período vegetativo da cultura, atrasando o período de maturação. A coleta dos dados produtivos foi realizada em 7 de agosto de 2011 (15 meses após plantio), utilizando-se a mesma metodologia adotada por Gonçalves (2010), com base no critério de Índice de maturação (IM), que considera a cana madura, a divisão do brix do extremo superior do colmo pelo brix do extremo inferior do colmo encontra-se entre 0,85 a 1,00.

2.1 Variáveis analisadas

2.1.1 Densidade de plantas por hectare (DP)

No dia da colheita da cana foi contado dentro de dois metros linear o número de colmos. De posse deste dado, a densidade de plantas por hectare foi estimada de acordo com a equação equação 1:

$$DP = \frac{NCM \cdot 100000}{S_2} \quad (1)$$

Em que,

DP – Densidade de plantas ou colmo (plantas ha⁻¹);

NCM – Número de colmos por metro linear (plantas m⁻¹);

S₂ – Espaçamento entre linhas de planta (m).

2.1.2 Potencial produtivo de colmo (PP)

O potencial produtivo de colmo foi estimado em função da mutiplicação da densidade de plantas por hectare e da massa média do colmo. Para determinar a massa do colmo foram colhidos aleatoriamente 12 colmos dentro da parcela útil, pesados separadamente e em seguida determinada a massa média (Figura 2).



Figura 2 - Foto ilustrativa da pesagem do colmo para se determinar a massa média de colmos. Aquiraz, CE, 2011.

2.1.3 Sólidos solúveis totais do caldo (°Brix)

O sólidos solúveis totais, expresso em °Brix, foi determinado com o auxílio de um refratômetro óptico portátil (Figura 3).



Figura 3 - Foto ilustrativa da determinação do °Brix da cana-de-açúcar. Aquiraz, CE, 2011.

2.1.4 Potencial produtivo de álcool

As amostras de caldo da cana-de-açúcar foram encaminhadas ao Laboratório de Bioengenharia: sistemas microbianos, do Departamento de Engenharia Química da UFC para, por meio de fermentação, determinar a concentração de álcool por volume de caldo.

Para o processo fermentativo das amostras foi utilizado o microorganismo comercial *Saccharomyces cerevisiae* (Fleischmann, Fermentec), em uma concentração inicial de 10g L^{-1} . As amostras foram diluídas pela metade da sua concentração inicial de açúcares; tiveram o pH ajustado para 4,5 e foram autoclavadas a 110°C durante 10 minutos. Os processos foram realizados em batelada e conduzidos em mesa rotativa (Tecnal - TE 420), sendo a rotação de 150 rpm e a temperatura de 30°C . Alíquotas foram retiradas em intervalos de tempo pré-estabelecidos e analisadas a produção de células (por turbidimetria a 660 nm em espectrofotômetro Spectronic® 20 Genesys), produção de etanol e consumo de sacarose no CLAE (Cromatógrafo líquido de alta eficiência, Waters, Milford, MA, EUA) equipado com um detector de índice de refração Waters 2414 e com uma coluna Aminex HPX-87H (Bio-Rad, Hercules, CA, EUA). H_2SO_4 5 mmol L^{-1} foi usado como fase móvel na vazão de $0,5\text{ mL min}^{-1}$ a 65°C (Figura 4).



Figura 4 - Foto dos equipamentos envolvidos nas etapas para fermentação do caldo de cana, Laboratório de Bioengenharia, UFC, Fortaleza, CE, 2011.

De posse dos resultados de percentagem de álcool por volume de caldo, foi estimado o potencial produtivo de álcool, de acordo com a equação 2.

$$PPA = \frac{RC}{100} \cdot \frac{PPC}{d} \cdot \frac{RA}{100} \quad (2)$$

Em que,

PPA – Potencial produtivo de álcool ($m^3 \text{ ha}^{-1}$);

RC – Rendimento produtivo de caldo (%);

RA - Rendimento de álcool (%);

d – densidade do caldo de cana ($Mg \text{ m}^{-3}$);

PPC – Potencial produtivo de colmo ($Mg \text{ ha}^{-1}$).

O rendimento de caldo por massa fresca de colmo foi determinado em função da massa seca das amostras. Os colmos foram prensados e em seguida acondicionados em estufa com temperatura controlada a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura5), para se determinar a massa seca da amostra, de acordo com a equação 3.

$$RC = 1 - \frac{MS}{MF} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que,

RC - Rendimento produtivo de caldo (%);

MS – Massa seca da amostra (g);

MF – Massa fresca da amostra (g).



Figura 5 - Foto das amostras de colmo para determinação da matéria seca em estufa a 60°C.

2.2 Análise estatística

Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparados usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa foram submetidos ao estudo de regressão, utilizando-se para isso o software para análises estatísticas da Universidade Federal de Viçosa-MG (2005) SAEG 9.0 UFV e ASSISTAT 7.6 Beta da Universidade Federal de Capina Grande-PB.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises das variâncias para os dados de potencial produtivo de colmos (PP), Densidade de plantas (DP) e °Brix (BX) pode ser observado na (Tabela 4). Pelos resultados apresentados, verificou-se efeito significativo dos tipos de água em todas as variáveis analisadas. Houve efeito significativo do tratamento lâmina de irrigação nas variáveis (PP e DP). Houve interação significativa do tipo de água x lâminas de irrigação (A x B) para o PP e DP, revelando a dependência entre estes fatores.

Tabela 4 - Resumo da análise da variância para os dados de potencial produtivo (PP), densidade de plantas (DP), °Brix (BX) e potencial produtivo de álcool (PPA) de cana-de-açúcar sob dois tipos de água de irrigação (A) e cinco lâminas de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2011

Fonte de variação	G. L.	Quadrados Médios			
		PP	DP	BX	PPA
Bloco	3	154,677 ns	4912252,96 ns	2,858 ns	1,34387 ns
Trat. (A)	1	46094,832 **	2650115061,22 **	0,196 ns	239,00791 **
Resíduo A	3	17,82529	4026555	2,045	6,29625
Parcelas	7				
Trat. (L)	4	8762,525 **	1618755126,88 **	2,415 **	41,23659 **
Int. A x L	4	546,656 **	135612515,48 **	0,597 ns	7,63573 *
Resíduo A	24	68,85897	10633492,67	0,525	1,88497
Total	39				

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

3.1 Potencial Produtivo

A maior média de potencial produtivo de colmo ($245,37 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi observada para a cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratada, diferenciando-se estatisticamente ($P < 0,01$) do PP de $177,48 \text{ Mg ha}^{-1}$, obtido para a cana irrigada com água de poço freático, diferença que pode estar associada aos nutrientes presentes no esgoto doméstico. O potencial produtivo da cana irrigada com esgoto está de acordo com o observado por Gomes *et al.* (2009) de $148,48 \text{ Mg ha}^{-1}$, que, por meio da análise foliar, constataram que esgoto utilizado como fonte hídrica supriu totalmente a necessidade de fósforo e enxofre da cultura.

Dalri *et al.* (2008), trabalhando com a cana variedade RB 72 454 sob irrigação por gotejamento subsuperficial, em Botucatu, SP, observaram produtividade média de 300 Mg ha⁻¹, superando o PP observado na presente pesquisa. Esta diferença pode estar relacionada às variáveis climáticas entre às regiões, as variáveis genéticas entre as variedades ou relacionadas e ao solo que segundo os autores, foi classificado como Nitossolo Vermelho com transição para Latossolo.

A cana irrigada com água de poço obteve maior potencial produtivo (210,5 Mg ha⁻¹) com o tratamento L4 (125% ECA), diferenciando-se estatisticamente (P<0,05) do PP obtido com os tratamentos L1, L2 e L3.

O potencial produtivo da cana irrigada com esgoto foi superior estatisticamente (P<0,05) ao da cana irrigada com água de poço freático, em todos os tratamentos (L1, L2, L3, L4 e L5). O tratamento L5 (150% ECA), da irrigação com esgoto, proporcionou maior PP de 272,1 Mg ha⁻¹, diferenciando-se estatisticamente dos obtidos com L1 e L2, também irrigados com esgoto, e de todos PP obtidos com água de poço freático L1, L2, L3, L4 e L5 (Tabela 5). Deon *et al.* (2010) também observaram o máximo potencial produtivo de 148,89 Mg ha⁻¹, com maior tratamento de lâmina de esgoto, referente a 200% da evapotranspiração da cultura.

Leal *et al.* (2009) trabalhando com a cana irrigada com esgoto sob, 100; 125; 150 e 200% da demanda hídrica da cultura observaram produtividade máxima de 247 Mg ha⁻¹ com 100% da reposição hídrica, sendo esta a mais recomendada pelos autores para o manejo da irrigação da cultura, valor próximo ao observado no presente trabalho, de 257,7 ha⁻¹, obtido com 100% da ECA, para irrigação com esgoto.

Tabela 5 - Médias de potencial produtivo (PP) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de água (L) . Aquiraz, CE, 2011.

Tipo de água	Lâminas de irrigação				
	L1 50% ECA	L2 75% ECA	L3 100% ECA	L4 125% ECA	L5 150% ECA
	Potencial produtivo (Mg ha ⁻¹)				
Água de poço	116,4 bD	160,6 bC	189,7 bB	210,5 bA	210,2 bA
Esgoto	212,43 aB	219,9aB	257,7 aA	264,6 aA	272,1 aA

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de PP foram o quadrático para a água de poço freático e o linear para o esgoto (Tabela 6).

Tabela 6 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para a PP, em função das lâminas de irrigações. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Nome	Coeficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ²
<u>Modelo</u> Y = a + bX + cX ²						
Água de poço	Constante	-14,8985				
	LAM	0,508107	0,0473841	10,723165	0,0000	0,97
	LAM ²	-0,0002848	0,0000375	-7,596889	0,0000	
<u>Modelo</u> Y = a + bX + cX ²						
Esgoto	Constante	179,679				
	LAM	0,10511	0,01198	8,7725	0,0000	0,81

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação.

Para a cana irrigada com água de poço o máximo PP, de aproximadamente 211,7 Mg ha⁻¹, foi estimado com lâmina de irrigação referente a 892 mm (Figura 6); a partir de então, o aumento da disponibilidade hídrica proporcionaria decréscimo do potencial produtivo. Sousa; Bernardo; Carvalho (1999) também observaram incremento quadrático da produtividade da cana em função da disponibilidade hídrica, sendo que as máximas produtividades de 155,8; 126,9 e 141,9 Mg ha⁻¹ prospectadas para as variedades RB72454, RB765418 e SP701011, foram estimadas com as lâminas totais de água 1568, 1424 e 1589 mm.

O incremento linear do PP em função do aumento das lâminas de irrigação, observado no presente trabalho (Figura 6), está de acordo com Deon *et al.* (2010). Segundo os autores, o incremento linear da produtividade em função do aumento das lâminas de irrigação deve-se ao nitrogênio presente no esgoto. Dantas Neto *et al.* (2006), trabalhando com a cana sob diferentes lâminas de irrigações (807, 986, 1164 e 1343 mm) e doses de N e K, concluíram que a doses de fertilizantes influenciaram mais as variáveis agrônômicas da cultura que a irrigação. Ainda segundo os autores, a produtividade máxima de 104,0 Mg ha⁻¹ foi obtida com a lâmina de irrigação referente a 1164 mm.

O máximo PP de 278,23 Mg ha⁻¹, estimado com a lâmina de 937,60 mm para irrigação com esgoto, assemelha-se ao observado por Dalri *et al.* (2008), de 300 Mg ha⁻¹, para a variedade RB 72 454 sob irrigação por gotejamento subsuperficial, em Botucatu, SP. O esgoto proporcionou incremento de 66,53 Mg ha⁻¹, quando comparada aos pontos de máximas estimados para os dois tipos de água de irrigação. Desta forma, esgoto doméstico usado para irrigação tem potencial para incrementar o PP da cana produzida no Ceará, aumentando a competitividade com outros estados.

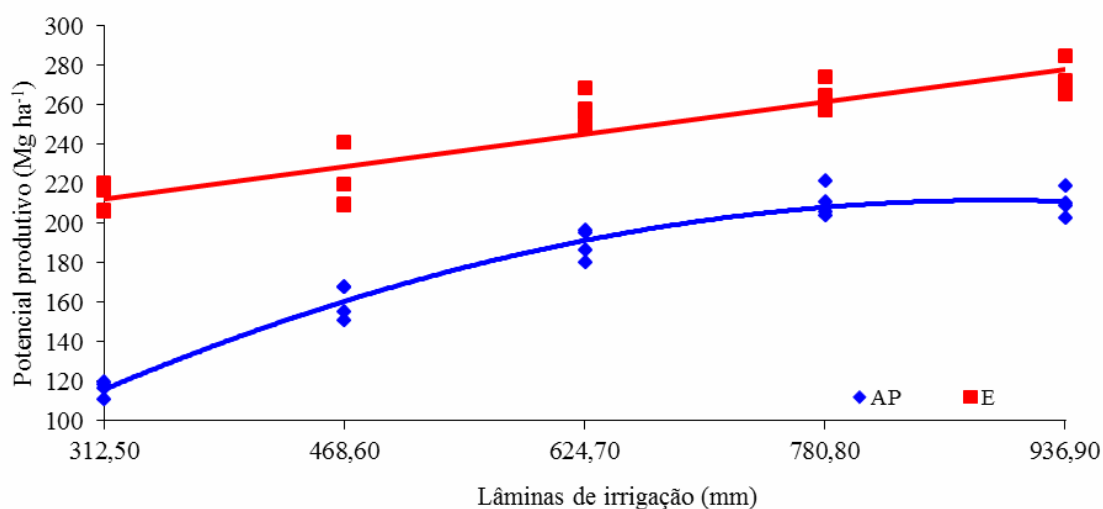


Figura 6 - Potencial produtivo de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) em função das lâminas de irrigação, para água de poço freático (AP) e esgoto (E). Aquiraz, CE, 2011.

Durante o período experimental, a precipitação pluviométrica registrada foi de aproximadamente 2.069 mm. Esta atende as necessidades hídricas da cultura que é de 1500 a 2500 mm por ciclo, de acordo com Doorenbos; Kassam (1979). Porém, como 95% da precipitação ocorreu em apenas 5 meses (Maio de 2010 e Janeiro a Maio de 2011), não sendo registrada precipitações entre junho e novembro de 2010, a irregularidade pluviométrica pode inviabilizar a produção da cana-de-açúcar. Corroborando com Rodrigues (1995), ao afirmar que a irregularidade da precipitação pluviométrica é uma das principais limitações para produção canavieira no Nordeste. Diante do exposto, a irrigação complementar torna-se ferramenta fundamental para a produção da cana-de açúcar.

3.2 Densidade de plantas

A maior média de densidade de plantas (115.920 plantas ha⁻¹) foi obtida com esgoto doméstico tratado, sendo superior estatisticamente ($P < 0,05$) à média observada para a cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático, de aproximadamente 99.642 plantas ha⁻¹.

A maior DP observada para cana irrigada com água de poço foi obtida com o L4 de 116.416 plantas ha⁻¹, não se diferenciando estatisticamente da obtida com o L5. Esta foi superior ao observado por Dantas Neto *et al.* (2006) e Silva *et al.* (2009b), de 91.204 e 91.944

plantas ha⁻¹ para variedade SP791011, cultivada no município de Capim, PB sob irrigação de 1164 e 1065 mm, e turno de rega de 12 dias, respectivamente. Esta diferença pode estar relacionada ao intervalo entre irrigações, já que no presente trabalho foi adotado o turno de rega de 2 dias. Corroborando com o presente trabalho, Darli *et al.* (2008) observaram densidade média de 181.933 plantas ha⁻¹ para cana irrigada por gotejamento subsuperficial. Os autores também observaram maior densidade de planta para maior frequência de irrigação, ou seja, menor turno de rega.

Para cana irrigada com esgoto, o tratamento L5 proporcionou a maior DP diferenciando-se estatisticamente de L1, L2 e L3, para a cana irrigada com a mesma fonte hídrica, e de L1, L2, L3, L4 e L5 quando comparado com as DP médias obtidas com água de poço.

Tabela 7 - Médias de densidade de plantas (DP) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de água (L). Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Lâminas de irrigação(mm)				
	L1 50% ECA	L2 75% ECA	L3 100% ECA	L4 125% ECA	L5 150% ECA
	Densidade de plantas (plantas ha ⁻¹)				
Água de poço	72.222 bD	92.416 bC	101.875 bB	116.416 bA	115.278 bA
Esgoto	100.187 aD	112.222 aC	118.055 aBC	123.139 aAB	126.000 aA

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados de densidade de plantas (DP) em função das lâminas de irrigação, para os dois tipos de água, foi o quadrático (Tabela 8).

Tabela 8 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para a DP, em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ²
	<u>Modelo</u> Y = a + bX + cX ²					
Água de poço	Constante	18032,3				
	LAM	207,872	26,8390	7,745157	0,0000	0,95
	LAM ²	-0,10993	0,021239	-5,17598	0,0000	
	Y = a + bX + cX ²					
Esgoto	Constante	71817				
	LAM	109,844	18,4996	5,93763	0,0000	0,93
	LAM ²	-0,05586	0,014639	-3,81577	0,0007	

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação.

O incremento quadrático estimado, de acordo com a análise de regressão, para a densidade de plantas em função do aumento das lâminas de irrigação, para os dois tipos de água de irrigação, estão de acordo com Dantas Neto *et al.* (2006), que pesquisando o efeito de lâminas de irrigação (807, 986, 1164 e 1343 mm) e doses de fertilizantes na cana, observaram uma tendência de incremento quadrático da densidade de plantas em função do aumento das lâminas de irrigação. As maiores densidades de planta foram de 75647 com 986 mm e 91204 com 1164 mm para as adubações referentes a 85 e 305 kg ha⁻¹ da mistura, contendo N e K₂O na proporção 1 para 0,94, respectivamente (Figura 7).

Mota *et al.* (2010), trabalhando com o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) sob diferentes lâminas de irrigação (0, 20, 40, 80, 100 e 120% ETo), observaram incremento linear da densidade de plantas em função da disponibilidade hídrica.

De acordo com as equações, os pontos de máxima da DP da cana irrigada com água de poço e esgoto foram estimados com uma lâmina de 945,47 mm e 938,20 mm, superior do intervalo de estudo da presente pesquisa, desta forma, não se podendo discutir sobre os mesmos (Figura 7).

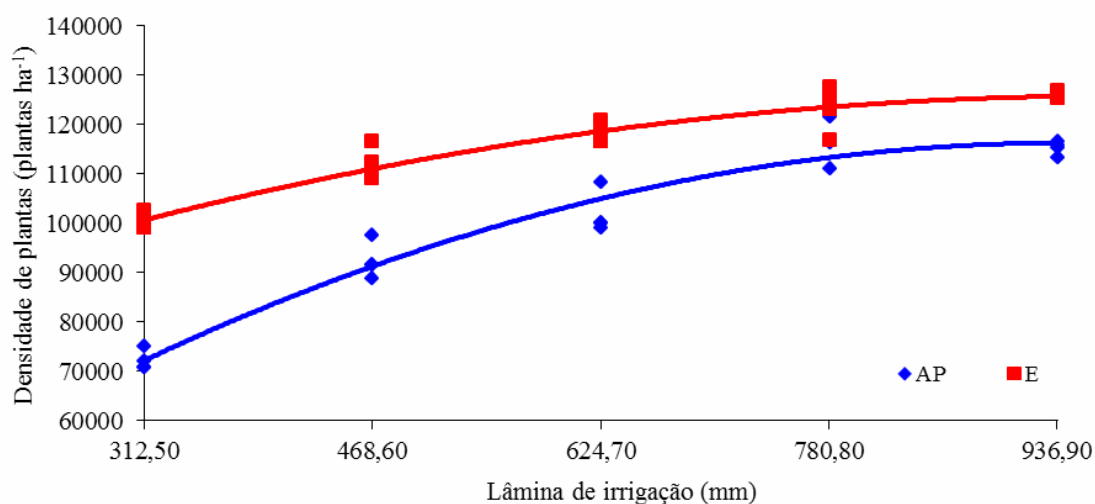


Figura 7 - Densidade de plantas por hectare em função das lâminas de irrigação, para água de poço freático (AP) e esgoto (E). Aquiraz, CE, 2011.

3.3 Sólidos Solúveis totais - °Brix

Não foi constatada diferença significativa ($P < 0,05$) do °Brix em função do tipo de água de irrigação. Para cana irrigada com água de poço, a maior média de °Brix (18,83) foi obtida com L4 (125% ECA), diferenciando-se estatisticamente das obtidas com L1, L2 e L3 (Tabela 8). Corroborando com o presente trabalho, Farias *et al.* (2009) também observaram efeito significativo do °Brix em função da disponibilidade hídrica; a máxima concentração de sólidos solúveis totais (°Brix = 20,37) foi obtida com a lâmina de irrigação referente a 100% da ETC. Já, Dantas Neto *et al.* (2006) não constataram diferenças significativas do °Brix em função das lâminas de irrigação.

Para a cana irrigada com esgoto não foi constatada diferença significativa entre os °Brix (Tabela 9). Diferindo do observado por Assis *et al.* (2004); que constataram efeito significativo do °Brix da cana em função das lâminas de esgoto.

Embora o brix da cana irrigada com os dois tipos de irrigação tenham sido próximos, o esgoto e o aumento das lâminas de irrigação são mais vantajosos devido ao ganho produtivo. Para Deon *et al.* (2010) os ganhos produtivos proporcionados com a irrigação de esgoto domésticos superam a pequena diminuição do Brix ocorrido pelo aumento das lâminas de irrigação.

Tabela 9 - Médias de sólidos solúveis totais (Brix) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de água (L). Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Lâminas de irrigação(mm)				
	L1 50% ECA	L2 75% ECA	L3 100% ECA	L4 125% ECA	L5 150% ECA
	°Brix (%)				
Água de poço	17,17 b	17,00 b	17,17 b	18,83 a	17,83 ab
Esgoto	17,17 a	17,17 a	17,17 a	17,73 a	18,07 a

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foi possível determinar um modelo matemático que se ajustasse aos dados de °Brix em função das lâminas de irrigação. Divergindo de Farias *et al.* (2009), ao constatarem incremento linear do °Brix em função das lâminas de irrigação.

3.4 Potencial produtivo de álcool

A cana irrigada com esgoto doméstico tratado proporcionou maior potencial produtivo médio de álcool por hectare ($13,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), se diferenciando estatisticamente de $8,68 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, obtido com a cana irrigada com água de poço freático. O maior potencial de álcool observado para cana irrigada com esgoto se deve provavelmente aos nutrientes presentes no esgoto doméstico. Dantas Neto *et al.* (2006) constataram efeito significativo do rendimento de álcool em função do aumento das doses de nitrogênio e potássio.

O potencial médio de álcool obtido para cana irrigada com água de poço ($8,68 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) foi semelhante à média observada por Dantas Neto *et al.* (2006), porém, segundo os autores, não houve efeito significativo do rendimento bruto de álcool em função das lâminas de irrigação. Divergindo do presente trabalho, em que foi contado efeito significativo do potencial produtivo de álcool em função da disponibilidade hídrica. Esta diferença pode estar associada à regularidade das precipitações pluviométricas, já que os referidos autores constataram precipitação total de 807 mm distribuídos durante 10 meses, registrando apenas 2 meses sem chuva. Já no presente trabalho as precipitações pluviométricas foram concentradas apenas em 5 meses, registrando ausência total de precipitação durante 6 meses.

O maior potencial produtivo de álcool obtido para cana irrigada com água de poço freático, de $12,26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, foi observado no tratamento L5 = 150% da ECA (937,60 mm). Já para a cana irrigada com esgoto, o tratamento L4 = 125% da ECA (781,40 mm) proporcionou maior rendimento, de $16,51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Tabela 10).

Azevedo (2002) também constatou efeito significativo do rendimento bruto de álcool em função da lâmina de irrigação. O máximo rendimento de álcool de $11,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ obtido com lâmina de irrigação de 1.043 mm, observado pelos referidos autores, está condizente com o máximo de $12,26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ com lâmina 937,60 mm observado para cana irrigada com água de poço.

Carvalho *et al.* (2009) também observaram efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o rendimento de álcool, em que, o máximo de aproximadamente $9,80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ foi obtido com lâmina de irrigação referente a 393,0 mm somado à precipitação pluviométrica de 755 mm, totalizando 1.168 mm. O rendimento máximo observado pelos referidos autores foi semelhante ao observado no presente trabalho, de 9,49 para irrigação com água de poço e lâmina de irrigação referente a 125% da ECA (781,40 mm). O maior rendimento observado

na presente pesquisa pode estar relacionado ao intervalo entre irrigações, já que Carvalho *et al.* (2009) adotaram turno de rega de 12 dias enquanto no presente trabalho foi utilizado turno de rega de 2 dias.

Tabela 10 - Médias de potencial produtivo de álcool (PPA) em função de dois tipos de água para irrigação e lâminas de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Lâminas de irrigação				
	L1 50% ECA	L2 75% ECA	L3 100% ECA	L4 125% ECA	L5 150% ECA
	Rendimento de álcool (m ³ ha ⁻¹)				
Água de poço	5,69 bC	7,57 bBC	8,36 bBC	9,49 bAB	12,26 aA
Esgoto	9,86 aC	12,53 aBC	14,65 aAB	16,51 aA	14,27 aAB

¹Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 11 estão expostos os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados de potencial produtivo de álcool (PPA) em função das lâminas de irrigação.

Tabela 11 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para a PPA, em função das lâminas de irrigações. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ²
	Modelo Y = a + bX					
Água de poço	Constante	2,65938				0,73
	LAM	0,00962638	0,00139442	6,903509	0,0000	
	Modelo Y = a + bX + cX ²					
Esgoto	Constante	-1,63016				0,68
	LAM	0,045031	0,0111573	4,035961	0,0004	
	LAM ²	-0,000029464	0,000008829	-3,33712	0,0020	

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação.

De acordo com as análises de regressão, o modelo matemático linear foi o que melhor se ajustou ao potencial produtivo de álcool da cana irrigada com água de poço. Já para a cana irrigada com esgoto, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados. Carvalho *et al.* (2009) observaram incremento quadrático do rendimento bruto de álcool em função das lâminas de irrigação. Porém, como o máximo foi estimado com lâmina superior à máxima aplicada no trabalho, os autores não discutiram o mesmo.

Os máximos potenciais produtivos de álcool estimados para a cana irrigada com água de poço e esgoto, de 11,68 m³ ha⁻¹ e 15,57 m³ ha⁻¹, foram prospectados com as lâminas de irrigação de 937,60 mm e 764,20 mm, respectivamente (Figura 8). O rendimento máximo estimado para cana irrigada com água de poço foi próximo às médias de 10,44 m³ ha⁻¹, 10,18

$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ e $10,46 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ observadas por Azevedo (2002); Silva (2002) e Silva (2003), respectivamente. Já os maiores valores de PPA estimado para a cana irrigada com esgoto em relação à cana irrigada com água de poço se deve provavelmente aos nutrientes presentes na água de reúso.

Houve incrementos de aproximadamente 36% e 17% do PPA para a cana irrigada com água de poço e esgoto, respectivamente, quando comparados os máximos rendimentos de álcool estimados, com as lâminas 937,60 mm e 764,20 mm e os estimados com a lâmina 312,50 mm (Figura 8). Dantas Neto *et al.* (2006), utilizando adubação de 157 kg de N mais 148 kg de $\text{K}_2\text{O} \text{ha}^{-1}$, também constataram incremento do rendimento de etanol com o favorecimento hídrico. Os autores observaram incremento de 30% quando comparados os rendimentos de álcool obtidos com as lâminas 807 e 1164 mm.

Comparando os máximos rendimentos estimados de etanol, das duas fontes hídricas, foi constatado incremento aproximado de 33% para cana irrigada com esgoto doméstico (Figura 8).

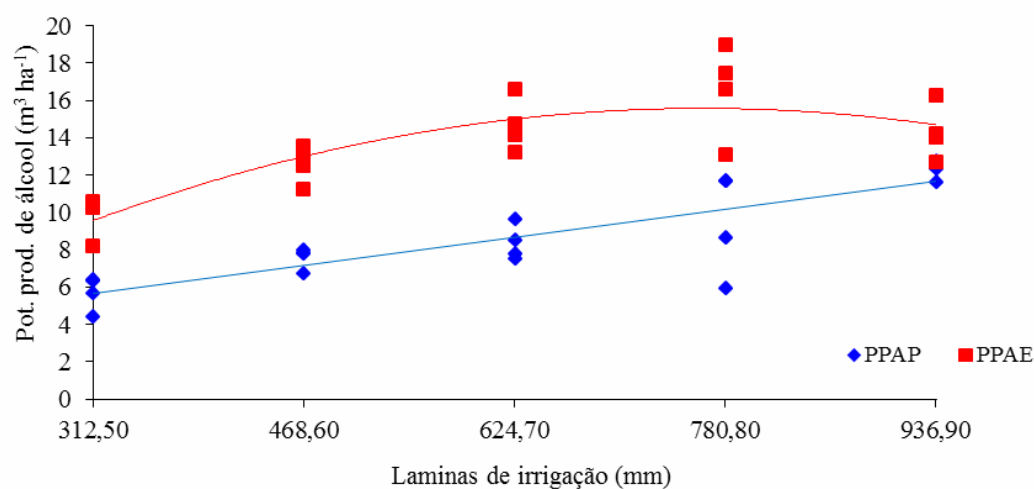


Figura 8 - Potencial produtivo de álcool por hectare em função das lâminas de irrigação, para água de poço freático (AP) e esgoto (E). Aquiraz, Ceará, 2011.

4 CONCLUSÕES

A prática da irrigação da cana-de-açúcar promove aumento da densidade de plantas, do potencial produtivo de colmos e de álcool.

O aumento das lâminas de irrigação, com água de poço freático, até 781 mm (125% da ECA), proporcionou incremento do potencial produtivo, densidade de plantas e brix, sendo esta a mais apropriada para o cultivo da cana.

O esgoto potencializou a produção de álcool da cana-de-açúcar. Considerando as condições em que foi realizado o experimento a lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado de 764,2 mm, bem distribuída durante todo desenvolvimento vegetativo da cana é a mais indicada para o cultivo de cana, visando a produção de álcool.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, P. C. O. *et al.* Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 4, n. 2, p. 1519-1531, 2004.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a doses de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

BRANDÃO, L. P.; MOTA, S.; MAIA, L. F. **Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, ES. 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/otres.pdf>>. Acesso: 26 ago. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, 2009. 160 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar: safra 2008: segundo levantamento: agosto 2008**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2008.

CARVALHO, C. M. *et al.* Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.4, n.1, p.72-77, 2009.

DALRI, A. B. *et al.* Irrigação de gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DALRI, A. B. *et al.* Irrigação de gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DANTAS NETO, J. *et al.* Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DEON, M. D. I. *et al.*. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, out. 2010.

DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudo de Irrigação e Drenagem, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FARIAS, C. H. A. *et al.* Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

GOMES, T. M. *et al.* Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. **Revista DAE**, v. 60, p. 19-25, 2009.

GONÇALVES, F. M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

LEAL, R. M. P. *et al.* Soil exchangeable cations , sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 242-249, 2009.

MOTA, V. J. G. *et al.* Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **R. Bras. Zootec.**, v. 39, n. 6, p. 1191-1199, 2010.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1995. 101 p. (Apostila).

SILVA, A. B. da. **Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de**

adubação. 2002. 61 f. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2002.

SILVA, A. B. *et al.* Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 236-241, 2009a.

SILVA, C. T. S. *et al.* Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 3-12, 2009b.

SILVA, C.T.S. da. **Efeito de diferentes níveis de adubação sobre a produção da terceira folha de cana irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba.** Campina Grande: UFCG, 2003. Dissertação Mestrado.

SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, 1999.

SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em campos dos goytacazes, RJ. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, 1999.

CAPÍTULO 7

Análise energética da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado para produção de etanol

RESUMO

O etanol obtido da cana-de-açúcar é um biocombustível com balanço energético bastante positivo. Contudo, o grande consumo hídrico necessário para o cultivo da cana pode inviabilizar ecologicamente esta fonte energética. Desta forma, a busca da racionalização da irrigação e do reúso de água na produção da cana são alternativas para a produção sustentável do etanol. Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do esgoto doméstico tratado e de diferentes lâminas de irrigação no cultivo da cana-de-açúcar. Os dados deste trabalho foram obtidos do experimento conduzido no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, em Aquiraz, CE, 2010-2011. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, avaliou-se o efeito de dois tipos de água de irrigação e nas subparcelas foram distribuídas cinco lâminas de irrigação, 50; 75; 100; 125 e 150% da evaporação do tanque classe A (ECA). Foi constatada diferença significativa das variáveis analisadas: dispêndio energético (DISP); saída de energia (SAID) e balanço energético (BAL) em função dos tratamentos tipo de água (A), lâmina de irrigação (B) e da interação A x B. Os maiores DISP, SAID e BAL foram observados para cana irrigada com esgoto. Os balanços energéticos mais positivos de 1:6,80 e 1:9,08 foram obtidos com lâmina de irrigação referente a 150% e 125% da ECA para cana irrigada com água de poço freático e esgoto, respectivamente. O esgoto é uma fonte hídrica ecologicamente sustentável para irrigação da cana-de-açúcar destinada à produção de etanol.

Palavras-chave: reúso de água, balanço de energia, *Saccharum officinarum* L.

Energy analyze of sugar cane irrigated with treated domestic sewage to produce ethanol

ABSTRACT

The ethanol obtained from sugar cane is a biofuel with large positive energy balance. However, the large water consumption required for sugar cane crop can be eco impracticable this energy source. Thus, the pursuit of efficient irrigation and reuse water in the production of sugar cane are alternatives for the sustainable production of ethanol. Then, this study evaluated the influence of treated domestic sewage and different irrigation levels of sugar cane crop. The data was obtained from the experiment conducted at the Research Center on Wastewater Treatment and Reuse in Aquiraz, CE, 2010-2011. The statistical design adopted was randomized blocks in split plots with four replications. In the plots, we evaluated the effect of two types of irrigation water and the plots were allotted five irrigation levels: 50, 75, 100, 125 and 150% of evaporation class "A" PAN. Was found significant difference of the variables analyzed: energy expenditure (DISP); energy output (SAID) and energy balance (BAL) as a function of the type of water treatment (A), irrigation level (B) and the interaction A x B. The largest results DISP, SAID and BAL were observed for sugar cane irrigated with sewage water. The more positive energy balances of 1:6.80 and 1:9.08 were obtained with irrigation level related to 150% and 125% of ECA for sugar cane irrigated with well water and sewage water, respectively. Sewage is an environmentally sustainable source of water for irrigation of sugar cane destined to ethanol production.

Keywords: reuse water, energy balance, sugar cane

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vários países, em destaque os que compõem a União Européia e Estados Unidos, têm adotado políticas de incentivo à produção e consumo de biocombustíveis como uma forma de substituir parte do consumo de combustíveis fósseis, que além de reduzir a emissão dos gases do efeito estufa, também minimiza a dependência da importação de combustíveis de países politicamente estáveis (PEZZO; AMARAL, 2007).

Para cada tonelada de cana destinada à produção de álcool hidratado e bioeletricidade, com o bagaço de cana excedente, há uma redução de aproximadamente 181,9 a 204,2 kg CO₂ eq para atmosfera, quando comparado à gasolina (MACEDO; LEAL; SILVA, 2004).

O Brasil é um dos países que mais incentiva e investe na produção dos biocombustíveis. Além de ser o maior produtor e exportador mundial de álcool, responde por cerca de 45,0% da produção mundial de etanol (SALLA *et al.*, 2009). Em 2007, mais de 16% de toda a energia consumida no país foram provenientes dessa fonte renovável, e a cana-de-açúcar passou a ser a segunda fonte de energia mais importante da Matriz Energética Brasileira (MEB) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2008).

As principais críticas dirigidas na atualidade à produção de biocombustíveis estão relacionadas ao seu baixo rendimento energético em relação a fontes fósseis. Diferente do etanol obtido a partir da beterraba (Europeu) ou do Milho (dos Estados Unidos), em que se tem um baixo rendimento energético de 2 e 1,6, respectivamente, para cada unidade de energia empregada para produção do etanol de cana-de-açúcar resultam entre aproximadamente 8,3 e 10,2 (PEZZO; AMARAL, 2007). Considerando por Goldemberg (2009) e como a melhor opção comercial entre os biocombustíveis.

Salla *et al.* (2009), avaliando o balanço energético do etanol de cana-de-açúcar, observaram que para cada unidade de energia empregada na produção do etanol resultou em 1,1 unidades de energia. Ainda segundo os autores, o baixo retorno energético deve-se principalmente ao grande dispêndio para o processamento industrial que consome aproximadamente 1.641,6 MJ Mg⁻¹ de colmo processado.

Urquiaga; Alves; Boodey (2005), considerando rendimento de colmo próximo ao de Salla *et al.* (2009) de 84,0 e 85,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, constataram balanço energética de 1:8,06. O balanço energético mais positivo observado por Urquiaga; Alves; Boodey (2005) se deve ao dispêndio energético no processamento industrial, considerado pelos referidos

autores, de 620 MJ por 84 Mg de colmo processado. Este baixo dispêndio deve-se ao autossustento energético da usina pela coogeração de energia pela queima do bagaço como combustível (SOARES *et al.*, 2009).

De acordo com Machado (1998), considerando a energia gerada com a queima do bagaço da cana no processo de industrialização e a venda do excedente a companhia de eletricidade, o balanço energético do etanol seria superior a 10 para 1. Ou seja, cada unidade de energia aplicada na produção do etanol resultaria em um retorno de mais de 10 unidades. Vieira (2007), avaliando o balanço energético da cana-de-açúcar do preparo do solo ao 5º corte, constatou balanço energético de 1:19,90 e 1:15,73 para cana colhida com queima prévia da palha e crua, respectivamente.

Segundo Macedo (2006) e UNICA (2007), o balanço energético do etanol é altamente positivo. Para cada unidade de energia empregada, tem-se um retorno de aproximadamente 8,9 unidades. Corroborando com o Instituto Worldwatch (2006), ao relatar balanço energético de aproximadamente 1:8 para o etanol obtido a partir da cana-de-açúcar. Soares *et al.* (2009), considerando o rendimento de colmo de 79,5 Mg ha⁻¹ e etanol de 6.510 L ha⁻¹, estimaram balanço energético de 1:9,35 para o etanol de cana-de-açúcar.

Além do balanço de energia, o consumo excessivo de água no cultivo da cana-de-açúcar, de aproximadamente 1500 mm, também tem sido questionado a respeito do etanol ser realmente um combustível ecologicamente correto. Desta forma, é comum observar pesquisas direcionadas para quantificar a lâmina de irrigação racional para produção da cultura (CARVALHO *et al.*, 2009; FARIAS *et al.*, 2009; DANTAS NETO *et al.*, 2006 e ASSIS *et al.*, 2004).

O reúso de água na produção de cana-de-açúcar já é uma realidade. As usinas utilizam a vinhaça, resíduo da fermentação da calda da cana, para fertirrigar a cultura. Porém, recentemente algumas pesquisas têm sido direcionadas ao efeito do esgoto doméstico tratado na irrigação da cana-de-açúcar (DEON *et al.* 2010). Assim, além de fonte alternativa de água, também há possibilidade da substituição parcial dos fertilizantes comerciais na produção da cultura. Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o balanço energético do etanol da cana-de-açúcar irrigada com esgoto, sob diferentes níveis de irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados do presente trabalho foram obtidos da pesquisa realizada em 2010/2011 com a cultura da cana-de-açúcar no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, mantida pela Companhia de Águas e Esgotos do Ceará (CAGECE) e Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza.

Na presente pesquisa foram adotados dois tipos de água de irrigação (água de poço freático e esgoto doméstico tratado) sob cinco lâminas de irrigação, com intuito o de maximizar o potencial energético e o balanço energético do etanol derivado de cana-de-açúcar. Para isso, foi empregado delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas (split-plot).

Em cada bloco, que media 6,00 m de largura por 36,00 de comprimento, foram distribuídas aleatoriamente as duas parcelas de 6,00 m de largura por 12,00 m de comprimento. As parcelas constituíram-se de dois tipos de água para irrigação (água de poço freático - AF; esgoto doméstico tratado - E).

As subparcelas eram constituídas de quatro linhas de plantas de 6,00 m de comprimento, sendo as duas linhas externas consideradas como bordaduras, de modo a evitar influência entre os tratamentos, e as duas internas como linhas úteis. Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de cinco lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe "A" (ECA): L1, lâmina de irrigação referente a 50% da ECA; L2, lâmina de irrigação referente a 75% da ECA; L3, lâmina de irrigação referente a 100% da ECA; L4, lâmina de irrigação referente a 125% da ECA e L5, lâmina de irrigação referente a 150%.

Para avaliar a viabilidade do etanol da cana-de-açúcar, determinou-se o balanço energético, o qual estabelece a relação entre o total de energia contida no biodiesel (SAIDA) e o total de energia investida em todo o processo de produção (ENTRADA ou DISPÊNDIO), incluindo-se as etapas agrícolas, transporte e o processo industrial.

Foram considerados dois tipos de dispêndios energéticos: os fixos e variados. Os gastos de energia fixos foram considerados aqueles comuns a todos os tratamentos como, por exemplo, preparo da área, mão de obra para montagem do sistema de irrigação, abertura das covas, adubação e plantio da cana-de-açúcar, capinas, colheita e transporte. Já os gastos variados foram calculados em função dos tratamentos com o tipo de água utilizado na irrigação, a quantidade da adubação nitrogenada utilizada e a lâmina de irrigação aplicada.

Desta forma, o consumo de energia durante a produção agrícola da cana-de-açúcar foi determinada de acordo com a equação 1:

$$D_p = D_{cf} + D_{cv} \quad (1)$$

Em que,

D_p – Dispêndio energético na produção agrícola (MJ ha^{-1});

D_{cf} - Dispêndio energético comum a todos os tratamentos (MJ ha^{-1});

D_{cv} – Dispêndio energético variável de acordo com o tratamento (MJ ha^{-1})

(Equação 2).

$$D_{cv} = A_i + DL \quad (2)$$

Em que,

A_i –Dispêndio energético para se obter a água de irrigação. Neste caso, foram computados o dispêndio energético com o tratamento do esgoto ou com o sistema motobomba (5 cv) para captação de água no poço freático, já que para esta fonte hídrica utilizaram-se duas motobombas: uma para captação e outra para irrigação (MJ ha^{-1});

DL – Dispêndio energético com o bombeamento (sistema motobomba 5 cv) referente ao tempo de irrigação, de acordo com o tratamento $L1 = 8,90 \text{ h}$; $L2 = 17,80 \text{ h}$; $L3 = 26,70 \text{ h}$; $L4 = 35,60 \text{ h}$ e $L5 = 44,50 \text{ h}$ (MJ ha^{-1});

Diante da complexidade de se determinar a energia consumida em todo o processo de produção agrícola, desde a fabricação de máquinas e implementos, produção de insumos, plantio, manejo e a colheita da cultura, transporte do produto agrícola ao local de processamento e consumo de combustível nas operações agrícolas, têm-se utilizado no Brasil valores médios tabelados dos gastos de energia. Estes valores constituem resultado de pesquisas de diversos autores. Com isso, para alguns fatores, utilizaram-se valores tabelados de estudos anteriores para cada unidade do insumo empregado na produção.

2. 1 Componentes energéticos

2.1.1 Estação de tratamento de Esgoto ETE

Para estimar o dispêndio energético com a construção das lagoas foi utilizado o projeto descritivo do ETE de Aquiraz, de competência da VBA Consultores S/c LTDA. As dimensões das lagoas estão expostas na tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, CE

Lagoa	Profundidade (m)	Dimensões do fundo (m)
Anaeróbia	3,00	86,70 x 40,70
Facultativa	1,50	192,70 x 95,50
Maturação	1,50	154,00 x 72,00
Maturação	1,50	153,70 x 71,70

A composição energética das lagoas de estabilização (Tabela 2) foi estimada a partir dos materiais e operações utilizados para construção do sistema de tratamento. Foi adotada vida útil das lagoas de estabilização de 30 anos.

Tabela 2 - Componentes de entradas energéticas estimadas para a construção da estação de tratamento de esgoto ETE de Aquiraz

Pré-tratamento	Unid.	Quant.	Disp. Energ. (MJ)
Limpeza manual	m ²	324,00	8,69
Escavação de vala manual, até 1,5 m	m ³	85,11	1952,77
Aterro de vala manual	m ³	59,38	1362,42
Aterro e comp. Mec.	m ³	264,79	8299,12
Concreto usinado	m ³	5,60	637,40
Concreto armado	m ³	15,80	39700,01
Argamassa 1:3	m ³	46,44	87,63
Pintura a base de cal, 3 demãos	m ²	37,34	129,72
Alvenaria de tijolo maciço	m ²	34,77	1050,05
Piso de cimento liso, E = 0,02 m	m ³	1,35	0,10
Reboco de cimento e areia grossa traço 1:3	m ²	24,34	45,43
Dispêndio energético Sub-total			53273,36
Lagoas (Anaerobia, Facul., Mat. 1 e Mat. 2)			
Escavação manual, até 1,5 m	m ³	301,05	3872,32
Limpeza manual	m ²	180236,36	4834,66
Bota-fora, DMT 5 km	m ³	5142,18	984465,08
Aterro e comp. Mec.	m ³	168452,30	
Moto niveladora 95 kw	h	842,26	768869,36
Caminhão irrigante 97 kw	h	1684,52	1741361,77
Trator de pneus 59 kw (MF 3060)	h	1684,52	927718,94
Pé-de-carneiro 75-97 kw	h	842,26	969150,22
Grade de disco	h	1684,52	63079,49
Rolo compactador de pneus 92 - 108 kw	h	842,26	798432,23
Servente	h	2526,78	12103,30
Escavação, carga, transporte e espalhamento de 200 a 100 m	m ³	16558,00	
Trator de esteira 140 Hp PD 140	h	331,16	366354,76
Pá carregadeira sobre pneus 170 Hp	h	331,16	361786,63
Cminhão Basculante	h	993,48	1027001,76
Manta asfáltica 3 mm*	m ²	8389,00	427839,00
Concreto armado	m ³	56,36	141613,46
Argamassa	m ³	0,83	1,56
Tubos PVC, J.E DN 200 mm	m	347,42	354368,40
Tubos PVC, J.E DN 300 mm	m	226,18	493977,12
Dispedio energético Sub-total			9446830,05
Dispedio energético total			9500103,41

* - Tavares (2006)

Para estimar as máquinas e o tempo de operação das mesmas envolvidas nas atividades de aterro e compactação mecânica; bota fora 5 km e escavação, carga, transporte e espalhamento de 200 a 100 m, utilizou-se a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos - TCPO 10. A TCPO 10 também foi consultada para determinar o material e o tempo de operação da escavação, aterro e limpeza manual, pintura, argamassa, concreto armado, concreto usinado, alvenaria e reboco.

Para cálculo do dispêndio de energia com mão-de-obra, foi contabilizada a carga horária em cada operação, segundo a TCPO 10 e multiplicando-se pelo coeficiente energético de 4,39 MJ hora⁻¹ homem⁻¹ adotado por Pimentel (1980) e Souza et al. (2009).

De acordo com o dispêndio total de energia estimada para a construção das lagoas, de 493,977 GJ, vida útil das lagoas 30 anos e vazão de efluente estimado para 2011 de aproximadamente $60,44 \text{ L s}^{-1}$, foi determinado o dispêndio energético relativo a 1 litro de esgoto doméstico tratado de $0,000166 \text{ MJ L}^{-1}$.

2.1.2 Dispêndio considerado fixo para o preparo da área, plantio, condução da cultura e colheita da cana-de-açúcar:

2.1.2.1 Operações Agrícolas

Como o presente trabalho foi realizado em uma área experimental reduzida, para que as operações agrícolas se aproximassem da realidade dos produtores de cana-de-açúcar brasileiros, na pesquisa utilizaram-se dados referentes às operações agrícolas e dispêndios energéticos utilizados por Soares *et al.* (2009) (Tabela 3).

Tabela 3 - Consumo de energia, na forma de óleo diesel combustível, em operações agrícolas para renovação e manutenção do canavial ao longo de um ciclo de produção de cana-de-açúcar no Brasil.

Operação agrícola	Equipamento	MJ ha ⁻¹
Aplicação de calcário	MF 290	161,00
Incorporação dos restos culturais	Valmet 1280	330,40
Aração pesada I	CAT D6	665,70
Subsolagem	CAT D6	1070,40
Aração pesada II	CAT D6	646,10
Aração pesada III	CAT D6	646,10
Gradagem	CAT D6	246,40
Sulcamento	MF 660	435,90
Distribuição de toletes	MF 275	199,50
Fechamento dos sulcos e aplicação de inseticidas	MF 275	91,00
Aplicação de herbicidas	Ford 4610	57,90
Capina entre linhas	Valmet 880	182,40
Colheita mecanizada*		1900,8
Total		6633,60

Fonte: Soares *et al.* (2009); *Salla *et al.* (2009)

2.1.2.2 Trabalho humano

Foi considerado o dispêndio energético estimado por Vieira (2007) de 4,06 MJ ha, 225,48 MJ ha⁻¹, 395,72 MJ ha⁻¹ e 360,64 para preparo da área, plantio, tratos culturais e colheita, respectivamente, totalizando 985,9 MJ ha⁻¹.

2.1.2.3 Cana-semente

Quanto ao dispêndio energético com material de propagação (cana-semente), foi adotado o mesmo de Soares *et al.* (2009), o qual considerou 2000 kg ha⁻¹ de toletes e dispêndio de 252,2 MJ ha⁻¹, considerando que são necessários 12.000 kg ha⁻¹ de toletes mas que estes perdurará por 6 ciclos.

2.1.2.4 Fertilizantes

Como utilizado por Silva; Freitas (2008) e Soares *et al.* (2008), os dispêndio de energia dos fertilizantes, nitrogênio, fósforo e potássio foram de aproximadamente 67,0 MJ kg⁻¹ 17,25 MJ kg⁻¹ e 13,54 MJ kg⁻¹, respectivamente. Já para o micronutriente, foi utilizado o valor de 5,40 MJ kg⁻¹, como adotado por Souza *et al.* (2008) e Chechetto *et al.* (2010).

Foram utilizados para adubação da cana-de-açúcar 150 kg ha⁻¹ de N; 100 kg ha⁻¹ de P; 120 kg ha⁻¹ de K, 41,67 kg ha⁻¹ de Micronutrientes.

2.1.2.5 Sistema de irrigação

O gasto de energia do sistema de irrigação localizado foi de 4.159 MJ ha⁻¹, como sugerido por Batty; Keller (1980) e Frigo *et al.* (2008).

2.1.2.6 Transporte

O transporte foi estimado para caminhões com reboques (Rodotrem), com capacidade para transportar 58 Mg, como indicado por Marques *et al.* (2006). Foi considerada para o transporte a composição veicular de carga: cavalo-mecânico, Mercedes-Bens Axor 2644, com massa de 10,3 Mg e potência de 428 cv e transbordo (acoplamento de carroceria dolly) massa de 13,35 Mg, como utilizado por Carreira (2010). Ainda segundo o autor, o coeficiente energético desta composição veicular é de aproximadamente 68,47 Mg km L⁻¹.

Para estimar o dispêndio energético indireto do transporte (fabricação do caminhão e transbordo) foi utilizada a metodologia de Macedônio; Picchioni (1985), que quantificaram a energia indireta (equipamentos) segundo a vida útil, o peso e os seus respectivos coeficientes energéticos. Assim, para o cavalo-mecânico (autopropelido) o valor adotado é de 69,830 MJ kg⁻¹; para os transbordos (não auto-propelidos), o valor de 57,200 MJ kg⁻¹. A vida útil da composição veicular foi de 500.000 km, como utilizada por Carreira (2010). O coeficiente energético do óleo diesel equivale a 11.400 kcal de energia por litro de diesel (PIMENTEL; PATZEK 2005).

Foi considerada a distância entre os municípios de Aquiraz e Pindoretama de aproximadamente 18,20 km, onde se encontram a unidade experimental e a Usina de Ypioca, respectivamente. Como determinado anteriormente pelo presente trabalho, foram considerados potenciais produtivos médios de 177,48 e 245,37 Mg ha⁻¹ de colmos para irrigação com água de poço freático e esgoto, respectivamente. Na Tabela 4 estão expostos os dispêndios considerados fixos estimados no presente trabalho para produção de 1 hectare de cana-de-açúcar.

Tabela 4 - Componentes de entradas energéticas consideradas fixas, estimados para o cultivo de 1 hectare de cana. Aquiraz, CE, 2010/2011

Componentes	Unid.	Quantidade	MJ ha⁻¹
Operações agrícolas com máquinas			6633,60
Mão de obra			985,9
Sistema de irrigação			4159
Sementes	kg	2000	252,2
Nitrogênio	kg	150	10050
Fósforo	kg	100	1725
Potássio	kg	120	1624,80
Micronutrientes	kg	41,67	225,02
Trasporte (AP)*	km	18,20	2247,96
Trasporte (E)**	km	18,20	3107,89
Total do dispêndio fixos*			28968,73
Total do dispêndio fixos**			30236,15

Dispêndio energético para o transporte em função do potencial produtivo médio estimado por hectare: *177,48 de colmos para cana irrigada com água de poço freático e **245,37 Mg ha⁻¹ de colmos para a cana irrigada com esgoto.

2.1.3 Dispêndios considerados variáveis, de acordo com os tratamentos adotados:

2.1.3.1 Manejo da irrigação

Dispêndio energético relativo à obtenção (para captação, com sistema motobomba 5 cv, da água de poço freático e tratamento do esgoto) e da lâmina de irrigação aplicada, em função dos tratamentos L1 = 312,60; L2 = 468,80; L3 = 625,10; L4 = 781,40 e L5 = 937,70 mm aplicadas por conjunto motobomba de 5 cv (Tabela 4). O dispêndio foi estimado para um hectare. Como a vazão do conjunto motobomba ($Q = 36,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) instalado atende apenas 0,43 ha irrigado, já que, a soma da vazão dos gotejadores requerida para ha é de $83,33 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, desta forma, para se estimar o dispêndio de energia em função do tempo de irrigação e da potência do motobomba, como pode ser observado na equação 3:

$$DL = \frac{P.L}{Ca} \quad (3)$$

Em que:

DL – Dispêndio energético em função da lâmina de irrigação (MJ ha^{-1});

P – Potênciamotobomba ($13,24 \text{ MJ h}^{-1}$);

L – Tempo em função dos tratamentos das lâminas de irrigação L1 = 37,51 h; L2 = 56,26 h; L3 = 75,01 h; L4 = 93,77 h e L5 = 112,52 h;

Ca – Coeficiente de consumo específico do sistema (adimensional).

Tabela 5 - Componentes de entradas energéticas estimadas em função da obtenção e distribuição das fontes hídricas (água de poço freático (AP) e esgoto doméstico tratado (E)). Aquiraz, CE, 2011

Tratamento	Unid.	L1	L2	L3	L4	L5
Lâminas	mm	312,6	468,8	625,1	781,4	937,7
Tempo de irrigação	h	37,51	56,26	75,01	93,77	112,52
Dispêndio c/ captação AP (5cv) ¹	MJ ha ⁻¹	1143,05	1714,58	2286,11	2857,63	3429,16
Dispêndio c/ irrigação AP (5cv) ²	MJ ha ⁻¹	1143,05	1714,58	2286,11	2857,63	3429,16
Dispêndio total c/ irrig. AP (5 cv)	MJ ha ⁻¹	2286,11	3429,16	4572,21	5715,27	6858,32
Dispêndio c/ irrigação E (5 cv)	MJ ha ⁻¹	1143,05	1714,58	2286,11	2857,63	3429,16
Dispêndio tratamento esgoto E	MJ ha ⁻¹	519,27	778,91	1038,55	1298,18	1557,82
Dispêndio total c/ irrigação E	MJ ha ⁻¹	1662,33	2493,49	3324,65	4155,82	4986,98

¹Sistema motobomba utilizado para captação de água no poço freático (AP); ²Sistema motobomba utilizado para irrigação com água de poço (AP).

2.1.4 Processamento industrial

Foi utilizado o coeficiente energético de aproximadamente 32,84 MJ para o processamento industrial para cada 1 Mg de colmo processado, como estimado por Soares *et al.* (2009). Foi estimado o dispêndio energético para cada tratamento, em função do coeficiente energético e do rendimento de colmo estimado para cada tratamento, como pode ser observado na equação 4:

$$DI = CE \cdot PPC \quad (4)$$

Em que:

DI – Dispêndio energético com industrialização (MJ ha⁻¹);

CE – Coeficiente energético para a industrialização de 1 Mg de colmo (32,84 MJ Mg⁻¹);

PPC – Potencial Produtivo de colmo (Mg ha⁻¹).

O dispêndio energético com a industrialização da cana-de-açúcar estimado para cada tratamento, em função do potencial produtivo de colmos, pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Componente de entradas energéticas do transporte de cana-de-açúcar em função das fontes hídricas (água de poço freático (AP) e esgoto doméstico tratado (E)) e lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Lâminas de irrigação (mm)				
	312,6	468,8	625,1	781,4	937,7
Dispêndio Industrialização (MJ ha ⁻¹)					
AP	3821,43	5275,06	6228,97	6913,98	6903,15
E	6976,27	7220,97	8463,84	8691,03	8938,53

2.2 Saída de energia

A saída de energia do sistema foi estimada em função da multiplicação do potencial produtivo de etanol, obtido para cada tratamento, pelo valor do coeficiente energético de 23,7 MJ por litro de etanol, como utilizado por Salla *et al.* (2009).

2.3 Balanço de energia

O balanço de energia foi determinado em função da energia de saída com etanol e do total de dispêndio energético para a obtenção do etanol, desde produção agrícola da cana, transporte e industrialização, total de energia de entrada no sistema.

$$BE = \frac{EE \text{ (Saída)}}{DET \text{ (Entrada)}} \quad (5)$$

Em que:

BE – Balanço energético

EE – Energia disponível em função a produção de etanol (MJ ha⁻¹);

DET – Dispendio energético total (produção, transporte e industrialização) (MJ ha⁻¹).

2.4 Análise estatística

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparadas usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se ajustar equações com significados biológicos, sendo selecionados os modelos matemáticos que apresentaram melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação (R²), utilizando-se para isso os softwares para análises estatísticas SAEG 9.0 UFV e ASSISTAT 7.6 Beta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 7 encontra-se o resumo das análises das variâncias para os dados do dispêndio energético ou entrada de energia do sistema (DISP), Saída de energia do sistema (SAID) e Balanço energético (BAL). Pelos resultados apresentados, verificou-se efeito significativo dos tipos de água em todas as variáveis analisadas. Quanto aos tratamentos, para as lâminas de irrigação também foram verificados efeitos significativos em todas as variáveis analisadas (DISP, SAID e BAL). O mesmo foi observado para a interação A x B, em que se constatou interação significativa para todas as variáveis analisadas, revelando a dependência entre estes fatores.

Tabela 7 - Resumo da análise da variância para os dados de dispêndio energético (DISP), saída de energia do sistema (SAID) e Balanço energético (BAL) de cana-de-açúcar sob dois tipos de água de irrigação (A) e cinco lâminas de irrigação (L). Aquiraz, CE, 2011

Fonte de variação	G. L.	Quadrados Médios		
		DISP	SAID	BAL
Bloco	3	166812,35 ns	754,84090 ns	0,39625 ns
Trat. (A)	1	50601152,81**	134248,32629 **	64,02662 *
Resíduo A	3	19223,48	3536,54140	2,18046
Parcelas	7			
Trat. (L)	4	54991289,77**	23162,19183 **	7,40695 **
Int. A x L	4	1826887,05**	4288,90995 *	2,39609 *
Resíduo A	24	74262,95	1058,76847	0,59620
Total	39			

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; ns – não significativo; * – significativo a 5% de probabilidade; ** – significativo a 1% de probabilidade

3.1 Entrada de energia no sistema ou dispêndio energético (DISP)

O maior dispêndio energético ou entrada de energia no sistema, de 41618,9 MJ ha⁻¹, foi constatado para irrigação com esgoto, diferenciando-se estatisticamente (P<0,05) do dispêndio de 39369,5 MJ ha⁻¹, observado para irrigação com água de poço freático. Estes valores estão próximos aos intervalos propostos por Macedo; Leal; Silva (2004). Pois, considerando as produtividades médias de colmo obtidas no presente trabalho, de 177,48 e

245,37 Mg ha⁻¹, para cana irrigada com água de poço e esgoto, respectivamente, e o coeficiente energético de 231,45 e 250,83 MJ por tonelada de colmo de cana, propostos pelos referidos autores, têm-se dispêndios energéticos entre 41078 e 61547 MJ ha⁻¹.

Fixando a lâmina de irrigação e comparando o dispêndio energético em todas as etapas para obtenção etanol, foi verificado que a irrigação com esgoto doméstico tratado consome maior energia (Tabela 8). Isto se deve ao gasto energético para o tratamento do esgoto doméstico (0,166 J L⁻¹) somado aos maiores potenciais produtivos registrados para cana irrigada com esgoto (em média 38% mais produtividade), que, conseqüentemente consome maior energia com transporte. De acordo com Soares *et al.* (2009), os dispêndios energéticos com as operações agrícolas e transporte da cana são bastante expressivos, podendo inviabilizar a sustentabilidade dos biocombustíveis. De acordo com Macedo; Leal; Silva (2004), o gastos energéticos com o transporte são de 19,01 a 21,28% do dispêndio energético com produção e transporte da cana.

Seixas; Marchetti (1982) estimaram que a agricultura brasileira utiliza aproximadamente 21% de sua energia na forma de combustíveis, 58% na forma de fertilizantes, 14% na forma de agrotóxicos e apenas 6,8% para irrigação, transporte e outros. No presente trabalho, o dispêndio energético com o sistema de irrigação somado aos dispêndios para aplicações das lâminas de irrigação foram de 23 a 34% e de 21 a 30% para água de poço e esgoto, respectivamente, de todo dispêndio energético com o cultivo da cana. Contudo, a importância de reduzir a quantidade de água na irrigação deve-se principalmente à importância ambiental, para que o etanol seja de fato considerado um combustível sustentável.

Tabela 8 – Dispêndio energético (entrada de energia no sistema) com etapas para obtenção do etanol, cultivo, transporte e industrialização da cana irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) sob cinco lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de Água	Lâminas de Irrigação (% ECA)				
	50	75	100	125	150
	Dispêndio energético (MJ ha ⁻¹)				
AP	35076,27 bE	37672,95 bD	39769,91 bC	41597,97 bB	42730,20 bA
E	38874,75 aE	39950,61 aD	42024,64 aC	43082,99 aB	44161,66 aA

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi verificado aumento significativo (P<0,05) do dispêndio energético em função do incremento das lâminas de irrigação. De acordo com a análise de regressão, constatou-se

que o modelo matemático linear foi o que melhor se ajustou aos dados de dispêndio, para os dois tipos de água de irrigação (Tabela 9).

Tabela 9 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PP, em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
<u>Modelo</u> $Y = a + bX$						
Água de poço	Constante	31678,3				0,97
	LAM	12,3051	0,46370	26,5368	0,0000	
<u>Modelo</u> $Y = a + bX$						
Esgoto	Constante	36137,6				0,96
	LAM	8,76949	0,39323	22,30118	0,0000	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação.

Foram estimados aumentos de 7653,9 e 5286,9 MJ ha⁻¹, equivalentes a um incremento de aproximadamente 21,8 e 13,6%, quando comparados os dispêndios energéticos estimados com as lâminas 312,6 e 937,7 mm para irrigação com água de poço e esgoto respectivamente (Figura 1).

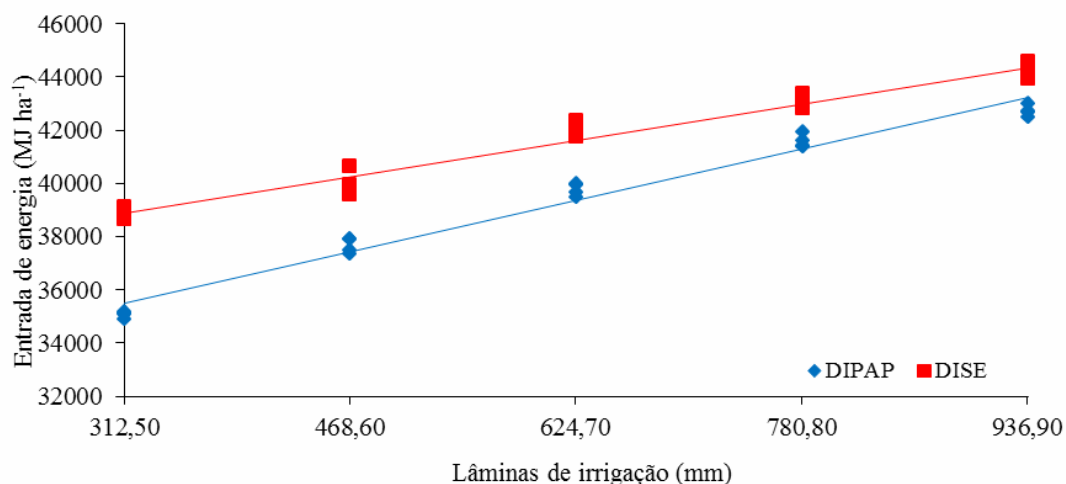


Figura 1 - Dispêndio energético (entrada de energia no sistema) para obtenção do etanol, cultivo, transporte e processamento industrial, da cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, Ceará, 2011.

Urquiaga; Alves; Boodey (2005) e Soares *et al.* (2009) observaram dispêndio energético total de 19.980 MJ ha⁻¹ e 14.940,8 MJ ha⁻¹, considerando um rendimento de

aproximadamente 87 Mg ha⁻¹ e 79,5 Mg ha⁻¹ de colmos, respectivamente. Ao estimar os dispêndios por unidade de massa de colmo 229,6 e 187,9 MJ Mg⁻¹, pode-se verificar proximidade entre os dispêndios. Realizando este mesmo procedimento no presente trabalho, considerando os potenciais produtivos de colmo estimado para irrigação com água de poço de 116 e 210 Mg ha⁻¹ e para irrigação com esgoto de 212 e 272 Mg ha⁻¹, com as lâminas 312,6 e 937,7 mm, respectivamente, relacionados aos respectivos dispêndios por unidade de área, tem-se 301,4 e 203,3 MJ Mg⁻¹ para irrigação com água de poço e 182,9 e 146,8 MJ Mg⁻¹ para o esgoto. Desta forma pode-se observar proximidade quando comparado o dispêndio energético por unidade de massa do presente trabalho e dos observados por Urquiaga; Alves; Boodey (2005) e Soares *et al.* (2009). Também foi constatado que por unidade de massa há maior dispêndio energético para irrigação com água de poço e quanto menor a lâmina de irrigação maior o dispêndio. Isto pode ser justificado pelo menor rendimento de colmo por unidade de área observado para as menores lâminas de irrigação.

3.2 Saída de energia do sistema ou rendimento energético (SAID)

A cana irrigada com esgoto doméstico proporcionou maior média de saída de energia do sistema (321,49 GJ ha⁻¹), diferenciando-se estatisticamente da média obtida com irrigação com água de poço freático, de aproximadamente 205,63 GJ ha⁻¹. Considerando o potencial produtivo de colmo de 245,37 Mg ha⁻¹ e 177,48 Mg ha⁻¹ obtido para cana irrigada com esgoto e água de poço, tem-se uma saída de aproximadamente 1,31 e 1,16 GJ Mg⁻¹ de colmo. Estes valores foram inferiores ao observado por Macedo; Leal; Silva (2004), ao constatarem rendimento energético de aproximadamente 1,92 a 2,05 GJ Mg⁻¹ de colmo.

Já Soares *et al.* (2009) e Urquiaga; Alves; Boodey (2005) estimaram saída de energia do sistema de aproximadamente 139,64 e 161,10 GJ ha⁻¹, respectivamente, sendo estes inferiores ao observado no presente trabalho. Esta diferença se deve ao rendimento de etanol por hectare considerado pelos referidos autores, de 6,5 e 7,2 m³ ha⁻¹, respectivamente, subestimando o que foi obtido no presente trabalho, de 8,68 m³ ha⁻¹ e 13,65 m³ ha⁻¹ para cana irrigada com água de poço e esgoto, respectivamente. Já que a saída de energia é determinada em função do rendimento de álcool e do coeficiente energético do álcool (21,45 MJ L⁻¹).

O aumento da disponibilidade hídrica proporcionou incremento do rendimento energético. As maiores saídas de energia do sistema foram observadas com as lâminas referentes a 150% e 125% da ECA para a cana irrigada com água de poço e esgoto, respectivamente (Tabela 10). Porém, só houve diferença estatística da cana irrigada com água de poço quando comparados os rendimentos energéticos obtidos com os tratamentos L4 = 125% da ECA e L1 = 50% da ECA. Já para cana irrigada com esgoto, houve diferença significativa da saída de energia obtida com tratamento L4 = 125%, da ECA quando comparado aos observados com os tratamentos L1 = 50% da ECA e L2 = 75% da ECA (Tabela 10).

Tabela 10 – Saída de energia do sistema, obtida com etanol de cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) sob cinco lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de Água	Lâminas de Irrigação (% ECA)				
	50	75	100	125	150
Saída de energia (GJ ha ⁻¹)					
AP	134,926 bC	179,536 bBC	198,182 bBC	224,985 bAB	290,507 aA
E	233,678 aC	296,962 aBC	347,160 aAB	391,367 aA	338,298 aAB

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão, constatou-se que o modelo matemático linear foi o que melhor se ajustou aos dados de saída de energia do sistema, para a cana irrigada com água de poço e o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados da cana irrigada com esgoto (Tabela 11).

Tabela 11 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para a PP, em função das lâminas de irrigações. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R ²
<u>Modelo</u>						
Y = a + bX						
Água de poço	Constante	63,0274				0,72
	LAM	0,228145	0,0330477	6,903509	0,0000	
Y = a + bX + cX ²						
Esgoto	Constante	-38,6348				0,68
	LAM	1,06722	0,264429	4,035961	0,0004	
	LAM ²	-0,0006983	0,00020925	-3,33712	0,0020	

* R² – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação.

As máximas saída de energia do sistema estimadas foram de 276,9 GJ ha⁻¹ e 368,9 GJ ha⁻¹, prospectadas com as lâminas de irrigação de 937,6 mm e 781,4 mm, para cana

irrigada com água de poço e esgoto respectivamente (Figura 2). Considerando estas estimativas, o uso do esgoto na irrigação da cana-de-açúcar proporcionou maior rendimento energético, superior em aproximadamente 33%, quando comparado às máximas saídas de energia estimada para cana irrigada com água de poço.

Outra vantagem proporcionada pelo uso do esgoto na irrigação foi a redução da lâmina de irrigação em aproximadamente 20% para atingir as máximas saídas de energia. Isto se deve provavelmente às qualidades intrínsecas da irrigação com esgoto, como os macros e micronutrientes presente; desta forma, a cada manejo da irrigação há a fertirrigação por meio dos nutrientes dissolvidos na água de reúso. Corroborando com Klar (1988) e Lopes (1989), ao afirmarem que a fertilidade do solo, em particular, promove uma maior eficiência de uso da água pelas culturas.

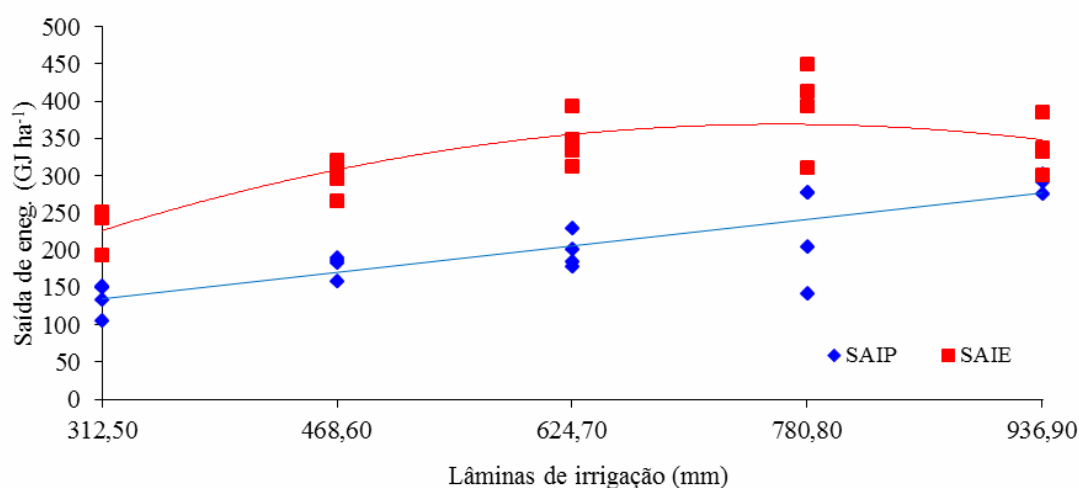


Figura 2 - Saída de energia do sistema ou produção energética do etanol de cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, Ceará, 2010/2011.

3.4 Balanço energético

A irrigação da cana-de-açúcar com esgoto doméstico tratado propiciou balanço mais positivo para cada unidade de energia empregada em todo processo produtivo. Obteve-se um retorno, em média, de 7,69, diferenciando-se estatisticamente do balanço energético

obtido para a cana irrigada com água de poço (1: 5,16). Estes valores foram inferiores ao intervalo proposto por Macedo; Leal; Silva (2004) de 1:8,3 a 1:10,2. Esta diferença pode ser justificada pelos referidos autores terem computado o excedente de energia gerado com o bagaço. Já na presente pesquisa apenas o álcool foi considerado como saída de energia.

Soares *et al.* (2009) estimaram balanço energético da cana-de-açúcar de aproximadamente 1:9,35 e não consideraram a energia excedente com o bagaço. Isto se deve provavelmente à não utilização do dispêndio energético com a irrigação da cana como computado no presente trabalho. Desta forma, entende-se que o balanço de energia está diretamente associado ao manejo da cultura da cana e às tecnologias envolvidas no processo de produção.

O aumento da disponibilidade hídrica proporcionou um balanço energético mais produtivo. O balanço energético mais positivo obtido para cana irrigada com água de poço foi de 1:6,80, sob lâmina de irrigação referente a 150% da ECA, diferenciando-se estatisticamente dos balanços obtidos com os tratamentos L1 = 50%, L2 = 75% e L3 = 100% da ECA (Tabela 12).

Para cana irrigada com esgoto, a lâmina de irrigação referente a 125% da ECA proporcionou o balanço energético mais positivo de 1:9,08, diferenciando-se estatisticamente dos observados com os tratamentos L1 = 50% e L2 = 75% da ECA. Este valor está de acordo com o estimado por Soares *et al.* (2009), de 1:9,35.

Tabela 12 – Balanço de energia do etanol de cana-de-açúcar irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) sob cinco lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2011

Tipo de Água	Lâminas de Irrigação (% ECA)				
	50	75	100	125	150
	Balanço de energia				
AP	3,84 bB	4,77 bB	4,98 bB	5,40 bAB	6,80 aA
E	6,01 aC	7,43 aBC	8,26 aAB	9,08 aA	7,66 aAB

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas, minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão, constatou-se que o modelo matemático linear foi o que melhor se ajustou aos dados de balanço energético, para a cana irrigada com água de poço e o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados da cana irrigada com esgoto (Tabela 13).

Tabela 13 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R^2) para a PP, em função das lâminas de irrigação

Tipo de água	Nome	Coefficiente	Desvio-padrão	Valor de T	Probab.	R^2
<u>Modelo</u>						
$Y = a + bX$						
Água de poço	Constante	2,54339				0,59
	LAM	0,0041861	0,0008112	5,160432	0,0000	
$Y = a + bX + cX^2$						
Esgoto	Constante	0,025366				0,58
	LAM	0,0239559	0,00616405	3,886397	0,0006	
	LAM ²	-0,00001663	0,0000048779	-3,40882	0,0017	

* R^2 – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação.

De acordo com as equações, os balanços energéticos mais positivos, de 1:6,47 e 1:8,59, foram estimados com as lâminas de irrigação de 937,6 e 720,3 mm para cana irrigada com água de poço e esgoto, respectivamente. O máximo balanço energético estimado para cana irrigada com água de poço subestimou os estimados por vários autores, de 1:8,0 a 1:19,90 (MACEDO; LEAL; SILVA (2004), VIEIRA (2007), SOARES *et al.* (2009)). Já para a cana irrigada com esgoto, o máximo balanço energético estimado, de 1:8,59, foi próximo ao estimado por Urquiaga; Alves; Boodey (2005), de 1:8,06.

De acordo com as estimativas dos máximos balanços energéticos, a cana irrigada com esgoto resultaria no balanço energético mais positivo em aproximadamente 32% e com uma redução do dispêndio de água em torno de 23% (Figura 3), indicando que o esgoto doméstico tratado é uma alternativa ecologicamente viável para a irrigação da cana-de-açúcar destinada à produção de biocombustível.

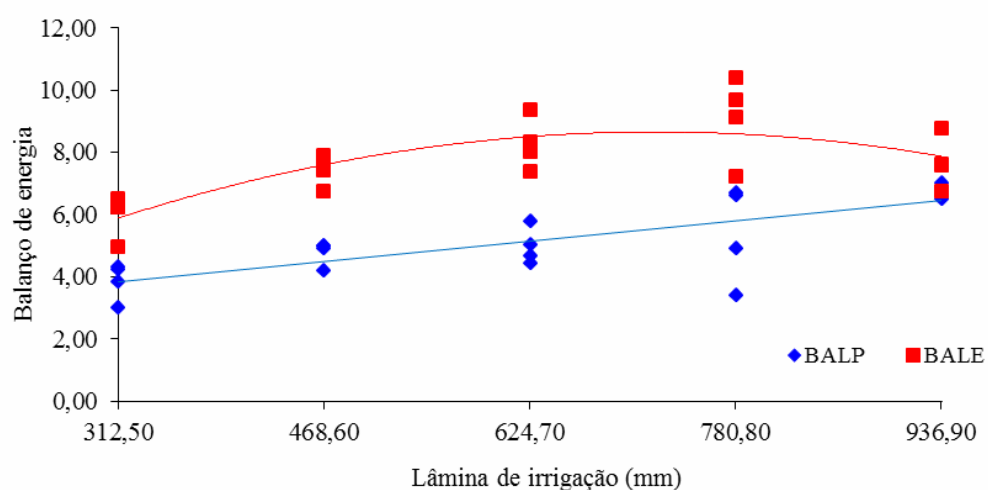


Figura 3 - Balanço de energia do etanal de cana-de-açúcar (*S. officinarum* L.) irrigada com água de poço freático (AP) e esgoto (E) em função das lâminas de irrigação. Aquiraz, CE, 2010/2011.

4 CONCLUSÕES

A cana irrigada com esgoto doméstico tratado proporcionou maior dispêndio de energia. Para ambas as fontes hídricas, a lâmina de irrigação referente a 150% da ECA foi a que mais despendeu energia.

O esgoto proporcionou maior rendimento energético ($368,9 \text{ GJ ha}^{-1}$), sendo recomendada a lâmina de irrigação de 781,4 mm. Já para cana irrigada com água de poço a lâmina de irrigação de 937,6 mm (150% da ECA) é a mais recomendada para se obter o maior rendimento energético de $276,9 \text{ GJ ha}^{-1}$.

O esgoto doméstico tratado é uma fonte hídrica ecologicamente mais sustentável para a irrigação da cana-de-açúcar destinada à produção de biocombustível.

O uso excessivo do esgoto na irrigação da cana diminui a eficiência e o balanço energético. Sendo mais indicada a lâmina de irrigação referente a 125% da ECA.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, P. C. O. *et al.* Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 4, n. 2, p. 1519-1531, 2004.

BATTY, J. C.; KELLER, J. Energy requirements for irrigation. *In*: PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. p. 35-44.

CARREIRA, M. L. **Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana-de-açúcar: um estudo de caso**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, 2010.

CARVALHO, C. M. *et al.* Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.4, n.1, p.72-77, 2009.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

DANTAS NETO, J. *et al.* Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DEON, M. D. I. *et al.* Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, out. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional, 2008**: Ano base 2007: Resultados Preliminares Rio de Janeiro: EPE, 2008. 44 p.

FARIAS, C. H. A. *et al.* Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

FRIGO, M. S. *et al.* Análise energética do primeiro ano de cultivo de pião-manso em sistema de irrigação localizado. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 261-271, 2008.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. Traduzido e adaptado do original: Soil fertility manual. Potash Phosphate Institute, 1978. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153 p.

MACEDO, I. C. **Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation**. (Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME), Activity 6: Potentials in Relation to Sustainability Criteria, SENER/BID, México, 2006.

MACEDO, I. de C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. da. **Balço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.asp?mmdCode=76A95628-B539-4637-BEB3-C9C48FB29084>> Acesso em: 06 de out. 2011.

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S.A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. v. 1, 95 p.

MACHADO, I. de C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**, v. 14, n.1, p. 77-81, 1998. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/els/09619534>>. Acesso em: 20 set. 2011.

MARQUES, K. M.; ALVES K. C. M.; BORGES R. M. **Logística de Transporte da cana-de-açúcar como uma especificidade da logística geral aplicada ao setor sucroalcooleiro**. 2006. Monografia (Bacharel em Administração) - Curso de Graduação em Administração de Empresas, Faculdades Integradas “Antônio Eufrásio de Toledo”, Presidente Prudente, São Paulo, 2006.

PEZZO, C. R.; AMARAL, W. A. N. do. O papel do Brasil no estabelecimento do mercado internacional de biocombustíveis. **Revista USP**, São Paulo, n.75, p.18-31, set./nov. 2007.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, v. 14. n. 1, p. 65-76, 2005.

SALLA, *et al.* Avaliação energética da produção de etanol utilizando matéria prima de cana-de-açúcar. **Ciências Rural**, v. 39, n. 8, p. 2516-2520, 2009.

SEIXAS, J.; MARCHETTI, D. **Produção e consumo de energia na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA, 1982. 15p. (Documentos, 3).

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, P. 843-851, 2008.

SOARES, L. H. B. *et al.* **Eficiência energética comparada das culturas do girassol e soja, com aptidão para a produção de biodiesel no Brasil**. Seropédica: EMBRAPA, 2008.

SOARES, L. H. de B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. EMBRAPA, p.14, 2009. (Circular Técnica, 27)

SOUZA, C. V. *et al.* Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 547-557, 2009.

SOUZA, J. L. *et al.* Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Revista Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 4, p. 433-440, 2008.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TCPO 10: **Tabela de Composições de Preços para Orçamentos**. São Paulo: Pini, 1996.

UNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**: resposta às questões mais frequentes. São Paulo: [s.n.], 2007.

Disponível em:

http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/artigos/Producao/producao_etanol_unica.pdf
f> Acesso em: 12 de set. 2011.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balance energético. **Revista de Política Agrícola**, anos 14, n. 1, p. 42-46, jan./mar. 2005.

VIEIRA, G. **Avaliação energética e custo de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum*) do preparo de solo ao 5º corte**. 2007. 104 f. Tese (Doutorado em energia na agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual de São Paulo – Campus de Botucatu. Botucatu, São Paulo. 2007.

WORLDWATCH INSTITUTE. **Biofuels for Transport: Global Potential and Implication for Energy and Agriculture**. Washington, EEUU. 2006. 162 p.
Disponível em: < http://www.worldwatch.org/system/files/EBF008_1.pdf > Acesso em: 17 set. 2011.