



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MÁRCIO PESSOA BOTTO**

**UTILIZAÇÃO DA URINA HUMANA COMO BIOFERTILIZANTE PARA  
PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E ENERGIA: CARACTERIZAÇÃO, USO NA  
AGRICULTURA E RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES.**

**FORTALEZA**

**2013**

**MÁRCIO PESSOA BOTTO**

**UTILIZAÇÃO DA URINA HUMANA COMO BIOFERTILIZANTE PARA  
PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E ENERGIA: CARACTERIZAÇÃO, USO NA  
AGRICULTURA E RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos.

**FORTALEZA**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

- 
- B771u Botto, Márcio Pessoa.  
Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia:  
caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes / Márcio Pessoa Botto. – 2013.  
270 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de  
Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza,  
2013.  
Área de Concentração: Saneamento Ambiental  
Orientação: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos.
1. Ecosaneamento. 2. Mamona. 3. Milho híbrido. I. Título.

**MÁRCIO PESSOA BOTTO**

**UTILIZAÇÃO DA URINA HUMANA COMO BIOFERTILIZANTE PARA  
PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E ENERGIA: CARACTERIZAÇÃO, USO NA  
AGRICULTURA E RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 01/02/2013.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. André Bezerra dos Santos (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

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

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Marisete Dantas de Aquino  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Boanerges Freire de Aquino  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves  
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Dedico esta oportunidade e conquista a Deus,  
aos meus pais, ao meu irmão, à minha esposa e  
aos meus filhos, Lucas e Letícia.

## AGRADECIMENTOS

### Agradecimento Institucional:

- À Universidade Federal do Ceará pelo aprendizado adquirido no curso de doutorado por meio de seu corpo docente.
- Ao Laboratório de Saneamento (Labosan) da Universidade Federal do Ceará por sempre manter suas portas abertas para a pesquisa e o aprendizado dos alunos.
- À Companhia de Água e Esgoto do estado do Ceará (CAGECE) pela disponibilização da área no Centro de Reúso em Aquiraz para o desenvolvimento das pesquisas.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão dos recursos para a compra de materiais, equipamentos e bolsas para os estudantes de graduação.
- Ao Departamento de Ciências Agrárias pela disponibilização de seus equipamentos para análise de dados agronômicos.
- À Funasa, Unifor e Fanor, meus ambientes de trabalho e experiência.
- Ao EcoSanRes (Ecological Sanitation Research) e SEI (Stockholm Environment Institute) pela concessão da bolsa para realização da minha especialização em saneamento focado em recursos, realizada na Suécia, em especial, ao Prof. Jan-Olof Drangert por me apoiar nos primeiros passos do ecossaneamento rumo a uma longa jornada.
- À equipe IDDS (International Development Design Summit) e a todos os patrocinadores por me disponibilizar a oportunidade em participar do IDDS – 2008, realizado no MIT (Massachusetts Institute of Technology), Boston, EUA.

### Agradecimento Pessoal:

- Aos meus filhos, Lucas e Letícia. Vocês são: a minha motivação, o meu acordar, o meu respirar, a minha razão. Amor de pai é o sentimento mais puro, sincero e grandioso.
- À minha esposa Cláudia, por compartilhar todos os momentos de felicidade e de angústia, pela compreensão nas horas de stress e pelo amor e satisfação de tê-la sempre ao meu lado. Muito obrigado, meu amor, por me proporcionar a maior alegria da vida que é poder construir uma família ao lado da pessoa amada.
- Aos meus pais João Botto e Maria Dina, por uma vida de ensinamentos, carinho, amor, compreensão e dedicação. Meu eterno obrigado. Vocês são o alicerce e a base para eu poder construir uma vida sólida e próspera.
- Ao meu irmão Marcos, pelo amor fraternal.
- À minha querida avó Maria Cabral (*in Memoriam*). O seu exemplo de garra, perseverança e positivismo faz com que sonhemos mais alto.
- Ao professor e amigo André, pela orientação, ensinamento e conselhos. Sempre serei grato por estes cinco anos de compreensão e respeito. Espero ainda poder contribuir em pesquisas e desenvolver ciência ao seu lado. Tenho, ainda, muito a aprender.

- Ao professor Suetônio pela amizade, pelo incentivo no início da minha experiência como pesquisador e pela participação como membro da banca examinadora.
- Aos professores Boanerges e Marcus Bezerra, pelos ensinamentos e pela paciência em ajudar um engenheiro civil em uma pesquisa de grande vertente na área das ciências agrárias.
- Ao prof. Ricardo Franci pela disponibilidade em participar como membro da banca examinadora.
- À professora Marisete pela amizade e participação como membro da banca examinadora
- Ao professor e amigo Thales Viana a quem sou muito grato por ter disponibilizado uma área no departamento de agrometeorologia para realização dos experimentos com o concentrador solar e todas as informações climatológicas presentes nesse estudo.
- Aos professores Jan-Olof Drangert, Björn Vinnerås, Håkan Jönsson e toda a equipe EcoSanRes pelos primeiros ensinamentos sobre ecossaneamento.
- Aos amigos e bolsistas de projeto, Marcella, Aline, Flávia, Carla, Romero, e em especial, ao Lucas, um estudante e futuro engenheiro muito determinado e que não mede esforços para ajudar.
- A todos os meus amigos de doutorado e mestrado, em especial, Marcos Erick; Paulo Igor; Soraia; Neyliane, Gustavo e Humberto.
- Ao grande amigo Eliezer pela ajuda e consultoria prestada com o concentrador solar.
- Ao amigo Alexandre Colzi pelo incentivo nesta reta final.
- Aos amigos de trabalho, Joaquim (Funasa), Igor (Funasa), Soraia (Funasa), Jauro (Funasa), Clarissa (Fanor) e Marcia (Unifor) pelo incentivo constante.
- Ao meu amigo Erivelton por toda a ajuda prestada na área técnica de informática.
- Ao Diassis, pela ajuda prestada com os experimentos no Centro de Reúso em Aquiraz.
- À minha família norte-americana, em especial, ao grande irmão, mágico, comediante e amigo, Brian (*in memoriam*).
- A todos os moradores do “Jambalaia”, em especial, ao amigo Daniel, por compartilhar as dificuldades e as alegrias, nos bares e botequins do bairro.
- Aos meus cunhados, Fábio e Lívia pelo incentivo constante, apoio e amizade.
- Às minhas sobrinhas e afilhada, Luana e Lia, por mesmo distante, proporcionarem momentos de alegria e felicidade.
- A todos os meus tios e tias, aos meus sogros Francisca e Gomes, às tias Fafá e Tetê (como meu filho Lucas as chama) pelo incentivo constante.
- A todos os moradores da comunidade Vila Tomé pela participação direta na pesquisa, por me receber como amigo e pelos ensinamentos de vida proporcionados.
- A todos os meus amigos que direta ou indiretamente me apoiaram nesta conquista.

“Não faças do amanhã o sinônimo de nunca, nem o ontem te seja o mesmo que nunca mais. Teus passos ficaram. Olhes para trás... mas vá em frente, pois há muitos que precisam que chegues para poderem seguir-te”.

(Charles Chaplin)



## RESUMO

Esta tese visou avaliar a aceitação dos princípios do ecossaneamento em uma comunidade peri-urbana no estado do Ceará; caracterizar a urina desta população segundo sexo e faixa etária, analisar seu armazenamento como forma de tratamento, desenvolver um protótipo de concentrador solar parabólico e avaliá-lo preliminarmente em relação às temperaturas alcançadas na região de evaporação da água contida na urina; analisar o comportamento da cultivar mamona BRS Nordestina e da cultura do milho híbrido em termos de produtividade e crescimento, quando fertilizados com urina humana e avaliar o impacto deste biofertilizante no solo. Os resultados indicaram que as mulheres se mostraram mais receptivas aos sanitários separadores de excretas, enquanto os homens afirmaram preferir sanitários convencionais com água ( $p < 0,05$ ). Foi possível observar diferenças de concentração de nutrientes entre as amostras pesquisadas (masculinas, femininas, de crianças e de idosos). O armazenamento da urina mostrou-se um método de higienização de baixo custo e bastante eficiente para as condições de temperatura do Ceará, com um tempo de inativação de 90% de coliformes termotolerantes menor do que 1 dia e inativação total em apenas 14 dias. Os testes com o concentrador solar mostraram que comparando as concentrações de nitrogênio e fósforo na urina antes e depois do experimento com o tubo de 22 mm, o sistema promoveu um aumento de 18% e 13%, respectivamente, nas concentrações de nitrogênio e fósforo. Quanto à aplicação da urina na mamona, no que diz respeito ao peso de mil sementes, não foi possível verificar diferença expressiva. A fertilização química (T1) respondeu de forma significativa e atingiu a maior produtividade ( $p < 0,05$ ) no fim do ciclo. As produtividades médias das sementes da mamona foram as seguintes: 1256,7; 1048,5; 671,8; 477,8 e 1081,2  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente para, T1 (NPKS); T2 (urina + cal); T3 (urina); T4 (0,5 de urina) e T5 (1,5 de urina). Os teores médios de óleo das sementes não apresentaram efeito significativo ( $p > 0,05$ ). Com relação aos atributos físicos e químicos do solo, não foi possível observar diferenças significativas antes e depois do plantio da mamona para os tratamentos empregados. Contudo, os resultados indicaram que quanto maior a dose de urina aplicada, maior é a condutividade elétrica do solo, sugerindo uma possível salinização a partir de elevadas taxas de aplicação de urina. No tocante à cultura do milho, não houve diferença significativa na aplicação de fertilizante químico (T2) e urina nas taxas 0,5 (T4), 1 (T3) e 1,5 (T5) para as variáveis diâmetro e comprimento da espiga de milho, porém estes diferiram do tratamento controle: adubo orgânico (T1) ( $p < 0,05$ ). As produtividades médias das espigas despalhadas foram iguais a 5068,8; 7937,5; 8831,3; 7393,8 e 10006,3  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente, para T1; T2; T3; T4 e T5, representando efeito expressivo entre aplicar urina na taxa de 1,5 ou 1 e aplicar urina na taxa de 0,5 ou adubo químico. Todavia, T1 (adubo orgânico) alcançou a menor produtividade, diferindo dos demais tratamentos. Logo, o peso das espigas variou conforme o tipo de adubação (química ou urina) e quanto ao volume de urina aplicado.

**Palavras-chave:** ecossaneamento, mamona, milho.

## ABSTRACT

This thesis aimed to evaluate the acceptance of eco-sanitation in a peri-urban community in the state of Ceará; to characterize the composition of human urine; to investigate its storage as a treatment method; to develop a parabolic solar concentrator prototype and evaluate the temperatures reached in the region of evaporation of the water contained in the urine; to analyze the performance of castor cultivar BRS Northeastern and corn hybrid in terms of productivity and growth when fertilized with human urine, and assess the impact of this bio-fertilizer in the soil. The results indicates that there were statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) between men and women in acceptance of the principles of eco-sanitation. Women were more receptive to ecosan, while men said they would prefer flush toilets. There were differences in nutrient concentrations comparing the samples (male, female, children and the elderly). The storage proved to be a low cost and very effective treatment method considering the temperature of Ceará. The inactivation of 90% of thermotolerant coliform required less than 1 day, and the total inactivation was achieved in 14 days. The tests with the solar concentrator showed that comparing the concentrations of nitrogen and phosphorus in urine before and after the experiment with 22 mm tube, the system promoted an increase of 18% and 13%, respectively, for nitrogen and phosphorus. Concerning urine application in castor, with respect to the thousand seed weight parameter, there was no significant difference. The chemical fertilizer (T1) responded significantly and reached the highest productivity ( $p < 0.05$ ) at the end of the cycle. The average productivity of castor seed were: 1256.7, 1048.5, 671.8, 477.8 and 1081.2 kg ha<sup>-1</sup>, respectively for T1 (NPKS); T2 (urine + lime); T3 (urine); T4 (0.5 urine) and T5 (1.5 urine). The seed-oil concentrations showed no significant effect ( $p > 0.05$ ). Regarding physical and chemical soil attributes, it was not possible to observe significant differences before and after castor bean plantation. However, the results indicated that the higher the dose of urine applied, the greater the soil electrical conductivity, suggesting a possible salinity from high application rates of urine. Regarding maize, there was no statistical difference ( $p > 0.05$ ) for diameter and length of the ear comparing chemical fertilizer (T2) and urine (T3, T4 e T5). Otherwise, these treatments generated significant effects ( $p < 0.05$ ) compared to T1, organic fertilizer (manure tanned). The average productivity of husked ears were equal to 5068.8, 7937.5, 8831.3, 7393.8 and 10006.3 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, for T1, T2, T3, T4 and T5, representing a significant effect between urine applied at the rate of 1.5 or 1 and urine at the rate of 0.5 or chemical fertilizer. However, with results already expected, T1 (organic fertilizer) achieved the lowest yield, differing from the other treatments. Thus, the weight of spikes varied according to the type of fertilizer (chemical or urine) and also to the volume of urine applied.

**Keywords:** eco-sanitation, castor bean, maize

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1- Princípios do saneamento focado em recursos .....	31
Figura 2.1– Principais desafios e consequências voltados para o setor do saneamento ambiental no século XXI.....	34
Figura 2.2 – Arquitetura organizacional da tese dividida por capítulos.....	40
Figura 3.1 – Fluxo hídrico e de nutrientes do sistema de saneamento convencional.....	54
Figura 3.2 – Fluxo hídrico e de nutrientes do sistema de ecossaneamento.....	56
Figura 3.3 – Características das águas residuárias domésticas sem diluição dos excretas (urina e fezes).....	61
Figura 3.4– Características das águas residuárias domésticas. Parâmetros expressos em gramas/pessoa.dia.....	61
Figura 3.5 – Mapa da localização do município de Aquiraz/ comunidade Vila Tomé no contexto latino-americano e nacional.....	71
Figura 3.6 – Imagem de satélite da localidade Vila Tomé.....	72
Figura 3.7 – Aplicação de questionários na comunidade Vila Tomé. Etapa de pré-diagnóstico. Aquiraz - CE, 2009.....	74
Figura 3.8 – Oficina de sensibilização ocorrida na Escola Pública em Vila Tomé, Aquiraz - CE, 2009.....	75
Figura 3.9 – Recipientes utilizados na coleta da urina, identificados por cor. Fortaleza – CE, 2009.....	77
Figura 3.10 – Recipientes utilizados no armazenamento da urina. Labosan, Fortaleza – CE, 2009.....	80
Figura 3.11 – Desenho esquemático do concentrador solar parabólico .....	81
Figura 3.12 – Desenho esquemático com o perfil da parábola para os cálculos do fator de forma de radiação.....	81
Figura 3.13 – Conjunto de imagens apresentando o acompanhamento das etapas de confecção da superfície parabólica de fibra de vidro, fixação e alinhamento dos perfis em madeira. Fortaleza-CE, 2009.....	87
Figura 3.14 – Protótipo concentrador solar. (A) - detalhe do tubo de cobre pintado de preto, parábola de fibra de vidro. (B) - filme de polyester <i>mylar</i> . Fortaleza-CE, 2010.....	89
Figura 3.15 – Peças e equipamentos responsáveis pelo movimento de rotação da parábola concentradora de energia solar. (A) - manivela para rotação da parábola e suporte de apoio do motor. (B) - catraca e manípulo. Fortaleza-CE, 2010.....	89

Figura 3.16 - Peças responsáveis pelo fluxo de entrada e saída da urina do concentrador. (A) - Bomba com vazão regulável e tanque. (B) - tubulação de sucção e serpentina de condensação. Fortaleza-CE, 2010. ....	90
Figura 3.17 - (A) Tubulação de recalque (B) – Sistema de pré-aquecimento. Fortaleza-CE, 2010. ....	90
Figura 3.18 - (A) Termômetro de haste (B) – Registros de controle e manômetro. Fortaleza-CE, 2010. ....	91
Figura 3.19 - Despejo da urina no tanque de sucção. Fortaleza-CE, 2012. ....	93
Figura 3.20 – Mosaico de imagens da comunidade Vila Tomé. (A) – Recipientes de armazenamento de água de uma família da comunidade. (B) – Residência e local de banho. (C) – Potes de armazenamento de água para beber. (D) – Banheiro de uma residência na comunidade. (E) – Local do banho de uma família. (F) – Precárias condições de habitação. (G) – Local utilizado para destinar os excretas. (H) – Chafariz público da comunidade. Aquiraz – CE, 2009. ....	95
Figura 3.21 – Cisternas de placa na comunidade Vila Tomé. Aquiraz, CE. 2009. ....	96
Figura 3.22 – Reúso informal das águas cinza em residência na comunidade Vila Tomé, Aquiraz, – CE, 2009. ....	99
Figura 3.23 – Opinião de 40 entrevistados (40% da comunidade Vila Tomé) a respeito do ecossaneamento. Azul : sim; Vermelho : não; Amarelo : não responderam. ....	100
Figura 3.24 – Opinião de 40 entrevistados (40% da comunidade Vila Tomé) a respeito do ecossaneamento. Azul : preferência por vaso com água; Vermelho : preferência por vaso seco; Amarelo : não responderam. ....	100
Figura 3.25 – Concentração de macronutrientes (kg/hab.ano) excretados pela urina humana: comparativo entre os dados desta pesquisa (Brasil – baixa renda) com os dados de outros países* e de outra classe social (Brasil – classe média**), 2009. ....	110
Figura 3.26 – Variação dos valores de pH ao longo do tempo de armazenamento das amostras de urina pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009. ....	115
Figura 3.27– Variação dos valores de condutividade elétrica (mS/cm) ao longo do tempo de armazenamento das amostras pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009. ....	116
Figura 3.28– Curva de decaimento bacteriano, utilizando como indicador coliformes termotolerantes (NMP/100mL), em termos logarítmico, ao longo do tempo de	

armazenamento das amostras pesquisadas: masculino, feminino, de criança e idoso. 2009. ....	117
Figura 3.29 – Concentração de amônia NH <sub>3</sub> ao longo do tempo de armazenamento das amostras pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009. ....	118
Figura 3.30 – Concentração de fósforo (mg/L) ao longo do tempo de armazenamento das amostras de urina pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009. ....	119
Figura 3.31 - Perfil do modelo do concentrador solar parabólico. ....	122
Figura 3.32 – Temperatura da urina e radiação solar em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 100 mm). Fortaleza-CE, 2012. ....	126
Figura 3.33 – Temperatura da urina e velocidade do vento em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 100 mm). Fortaleza-CE, 2012. ....	127
Figura 3.34 –Tubo absorvedor de 100 mm aberto após o experimento. Detalhe da existência de material particulado na parede interna do tubo. Fortaleza-CE, 2012. ....	128
Figura 3.35 –Concentrador solar com o tubo de 22 mm. Fortaleza-CE, 2012. ....	129
Figura 3.36 – Temperatura da urina e radiação solar em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 22 mm). Fortaleza-CE, 2012. ....	130
Figura 3.37 – Temperatura da urina e velocidade do vento em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 22 mm). Fortaleza-CE, 2012. ....	130
Figura 3.38 – Pontos de vazamento e perda de pressão no sistema (orifício de inserção do termopar – medidor de temperatura). Fortaleza-CE, 2012. ....	131
Figura 3.39 – Sobra do material sólido retirado de dentro do tubo de 22mm após o experimento. ....	132
Figura 4.1 – Mapa de localização do centro de pesquisa em reúso da Cagece/ Universidade Federal do Ceará. Imagem Satélite Google Earth. Aquiraz-CE, 2012. ....	160
Figura 4.2 – Coleta de amostras de solo antes do experimento. Aquiraz-CE, 2009. ....	161
Figura 4.3 – Croqui da área de plantio, linhas principal e secundárias e esquema dos tratamentos aplicados. Aquiraz-CE, 2010. ....	163
Figura 4.4 – Método de aplicação direta da urina na mamoneira. Aquiraz-CE, 2011. ....	165
Figura 4.5 – Mosaico de imagens do plantio da mamona. (A) – Linha principal e secundárias do manejo de irrigação. (B) – Abertura de covas para adubação. (C) – aplicação do calcário dolomítico. (D) – detalhe da linha secundária e gotejador. (E) – Área do plantio da mamona. (F) – Área do plantio da mamona Aquiraz-CE, 2011. ....	167

Figura 4.6 – Detalhe de racemos de mamona com a indicação dos limites do comprimento do racemo adotado para medição. Fortaleza-CE, 2011.....	171
Figura 4.7 – Indicação esquemática dos locais (pontos) de coleta de solo do experimento para caracterização físico-química. Aquiraz-CE, 2011.....	173
Figura 4.8 – Preparo da urina para aplicação. (A) – Bombona de 50 litros equipado com torneira. (B) – Transferência da urina do recipiente de armazenamento para o recipiente de aplicação. Aquiraz-CE, 2011.....	178
Figura 4.9 – Altura da mamoneira ao longo dos 150 DAS. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.....	179
Figura 4.10 - Diâmetro de caule da mamoneira ao longo dos 150 DAS. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011. ....	180
Figura 4.11 – Altura da mamoneira sob diferentes doses de urina (volume) em função dos períodos de avaliação. Aquiraz-CE, 2011.....	182
Figura 4.12 - Taxa de crescimento absoluto em altura de plantas (TCAap) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011. ....	185
Figura 4.13 - Taxa de crescimento relativo em altura de plantas (TCRap) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011. ....	187
Figura 4.14 - Taxa de crescimento absoluto em diâmetro de caule (TCAdc) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011. ....	188

Figura 4.15 - Taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule (TCRdc) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011. ....	189
Figura 4.16 - Taxa de crescimento absoluto do primeiro período (45-90 DAS) em altura da planta (TCAap) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011..	190
Figura 4.17 - Taxa de crescimento absoluto do segundo período (90-120 DAS) em altura da planta (TCAap) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011..	190
Figura 4.18 - Taxa de crescimento absoluto do terceiro período (120-150 DAS) em altura da planta (TCAap) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011..	191
Figura 4.19 - Taxa de crescimento absoluto do primeiro período (45-90 DAS) em diâmetro do caule (TCAdc) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011. ..	191
Figura 4.20 - Taxa de crescimento absoluto do segundo período (90-120 DAS) em diâmetro do caule (TCAdc) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011. ....	192
Figura 4.21 - Taxa de crescimento absoluto do terceiro período (120-150 DAS) em diâmetro do caule (TCAdc) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011. ....	192
Figura 4.22 – Plantas que apresentaram injúrias (folhas murchas) após 72 horas da aplicação da urina . Aquiraz-CE, 2011.....	193
Figura 4.23 – Produtividades em função do tratamento aplicado. Aquiraz-CE, 2011.....	199
Figura 4.24 – Produtividades médias da mamona no Brasil e no Ceará entre os anos de 2005 a 2010 em comparação com as produtividades média por tratamento obtidas nesta pesquisa. Aquiraz-CE, 2011.....	201
Figura 5.1 – Comparação das espigas de milho (A) e mudas de espinafre (B) fertilizadas com urina e sem fertilização. ....	223
Figura 5.2 – Área plantada com milho, em 1000 hectares, nos principais países produtores.	226
Figura 5.3 – Série histórica de produção do milho de 1991/92 a 2012/13 (1ª e 2ª safra) no Brasil. ....	227
Figura 5.4 – Mapa de localização do centro de pesquisa em réuso da Cagece/ Universidade Federal do Ceará. Imagem Satélite Google Earth. Aquiraz-CE, 2012.....	229
Figura 5.5 – Croqui da área de plantio, linhas principal e secundárias e esquema dos tratamentos aplicados. Aquiraz-CE, 2009.....	230

Figura 5.6 – Manejo de irrigação: linhas principal, secundárias e cavalete para micromedição e controle do fluxo de água. Aquiraz-CE, 2009.....	233
Figura 5.7 – Experimento com reuso de urina no cultivo do milho. (A) – Aplicação de adubo orgânico. (B) – 13 dias após a semeadura. (C) – 25 dias após a semeadura. (D) – 90 dias após a semeadura. Aquiraz-CE, 2009.....	234
Figura 5.8 – Altura da planta (90 DAS) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2009.....	239
Figura 5.9 – Comprimento da espiga de milho (90 DAS) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2009.....	242
Figura 5.10 – Espigas de milho fertilizadas com 0,5 da dose de urina (T4) e com 1,5 da dose de urina recomendada (T5). Aquiraz-CE, 2009. ....	242
Figura 5.11 – Peso das espigas de milho despalhadas (90 DAS) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2009.....	245
Figura 5.12 – Valores de produtividade, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , das espigas de milho despalhadas para os diferentes tratamentos (T1 - adubo orgânico; T2 - fertilizante químico; T3 - urina; T4 - 0,5 da dose de urina; T5 - 1,5 da dose de urina). Aquiraz-CE, 2009. ....	248
Figura 5.13 – Plantas do tratamento com NPKS antes (A) e depois (B, C,D) da ocorrência da lagarta-de-cartucho. Aquiraz – CE, 2009.....	254



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Possíveis patógenos excretados pela urina e a importância como meio de transmissão. ....	63
Tabela 3.2 – Condições de armazenamento para tratamento da urina segundo o tipo de cultura a ser utilizada. ....	64
Tabela 3.3 - Resumo das principais técnicas de tratamento da urina e suas características. ....	68
Tabela 3.4 - Metodologia dos parâmetros analisados e referências de normatização. ....	79
Tabela 3.5 - Concentração de coliformes termotolerantes (100NMP/100mL) de três cisternas de placa e do chafariz público na comunidade Vila Tomé, de fevereiro de 2009 a abril de 2010. ....	97
Tabela 3.6 - Médias e desvios-padrão dos parâmetros físico-químicos de três cisternas de placa e do chafariz público na comunidade Vila Tomé, durante fevereiro de 2009 a abril de 2010. no – não objetável. ....	97
Tabela 3.7 - Caracterização físico-química da urina fresca (após dois dias de coleta) da população da comunidade Vila Tomé, dividida por sexo e faixa etária. 2009. ....	104
Tabela 3.8 - Concentração média de metais pesados (mg/L) na urina humana da população de Vila Tomé (Ceará) em comparação com lodo de ETA e ETE, adubos químico e orgânico. 2009. ....	112
Tabela 3.9 - Caracterização microbiológica da urina fresca (após dois dias de coleta) da população da comunidade Vila Tomé, dividida por sexo e faixa etária. 2009. ....	113
Tabela 3.10 - Resultado das iterações de 1 a 5 do <i>solver</i> apresentados como dados de saída (outputs). ....	120
Tabela 3.11 - Resultado das iterações de 6 a 10 do <i>solver</i> apresentados como dados de saída (outputs). ....	121
Tabela 3.12 - Dados de entrada e saída referentes à parábola escolhida pelo processo iterativo ( $x_2 = 0,6$ e $y_2 = 0,15$ ). ....	123
Tabela 3.13 – Características da urina antes e após a adição do ácido sulfúrico. ....	124
Tabela 3.14 – Características climatológicas do dia de ensaio, (temperatura do ar; umidade relativa; velocidade do vento; radiação solar e precipitação). ....	125
Tabela 3.15 – Características climatológicas do dia de ensaio, 21 dez. 2012. (temperatura do ar; umidade relativa; velocidade do vento; radiação solar e precipitação). ....	128
Tabela 4.1 - Principais bibliografias sobre uso de urina animal em culturas oleaginosas. ....	156
Tabela 4.2 - Tratamentos aplicados no cultivo da mamoneira. Aquiraz-CE, 2010. ....	162

Tabela 4.3 - Características físico-químicas da água utilizada na irrigação da mamona. Aquiraz-CE, 2010.....	164
Tabela 4.4 - Modelos matemáticos e coeficientes de regressão por tratamento para o componente altura da planta. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.....	180
Tabela 4.5 - Modelos matemáticos e coeficientes de regressão por tratamento para o componente diâmetro do caule. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.....	181
Tabela 4.6 - Modelos matemáticos e coeficientes de regressão da altura da mamoneira por dose de urina para cada instante de avaliação. Aquiraz-CE, 2011.....	182
Tabela 4.7 - Resumo das análises das variâncias para os dados: altura da planta, diâmetro caulinar e número de racemos. Aquiraz - CE, 2011.....	183
Tabela 4.8 - Médias da altura da planta, diâmetro caulinar e número de racemos em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2011. ....	184
Tabela 4.9 - Modelos matemáticos das taxas de crescimento absoluto da altura da planta por período de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011. ....	185
Tabela 4.10 - Resumo das análises de variâncias para os dados: comprimento do racemo, número de frutos por planta e peso de frutos por planta. Aquiraz - CE, 2011..	195
Tabela 4.11 - Médias de comprimento do racemo, número de frutos por planta e peso de frutos por planta em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2011. ....	196
Tabela 4.12 - Resumo das análises de variâncias para os dados: peso de mil sementes, produtividade e teor de óleo. Aquiraz - CE, 2011.....	198
Tabela 4.13 - Médias de peso de mil sementes, produtividade e teor de óleo. Aquiraz - CE, 2011.....	198
Tabela 4.14 - Atributos químicos do solo antes do cultivo da mamona, Aquiraz, 2011.....	203

Tabela 4.15 - Atributos químicos do solo depois do cultivo da mamona em diferentes tratamentos. (T1 - irrigação com água e adubação química e orgânica; T2 - irrigação com água bruta e aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 - irrigação com água bruta e aplicação de urina na dose recomendada; T4 - irrigação com água bruta e aplicação de 0,5 de urina da dose recomendada e T5 - irrigação com água bruta e aplicação de 1,5 de urina da dose recomendada.). Aquiraz, 2011.....	204
Tabela 5.1 - Principais bibliografias sobre uso de urina humana em culturas alimentícias...222	
Tabela 5.2 - Tratamentos aplicados no cultivo do milho. Aquiraz-CE, 2009.....	231
Tabela 5.3 - Características físico-químicas da água utilizada na irrigação do milho. Aquiraz-CE, 2009.....	231
Tabela 5.4 - Altura médias, em centímetros, das plantas para os diferentes tratamentos utilizados. T1: adubo orgânico; T2: fertilizante químico; T3: urina; T4: 0,5 da dose de urina; T5: 1,5 da dose de urina.....	237
Tabela 5.5 - Comprimento médio, em centímetros, das espigas de milho para os diferentes tratamentos utilizados. T1: adubo orgânico; T2: fertilizante químico; T3: urina; T4: 0,5 da dose de urina; T5: 1,5 da dose de urina. ....	241
Tabela 5.6 - Peso, em gramas, das espigas de milho despalhadas para os diferentes tratamentos utilizados (T1 - adubo orgânico; T2 - fertilizante químico; T3 - urina; T4 - 0,5 da dose de urina; T5 - 1,5 da dose de urina). Aquiraz-CE, 2009. ....	245
Tabela 5.7 - Resumo das análises de variâncias para variável altura da planta. Aquiraz - CE, 2009.....	249
Tabela 5.8 - Resumo das análises de variâncias para variável índice de espigas. Aquiraz - CE, 2009.....	249
Tabela 5.9 - Médias da altura da planta e índices de espigas em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2009.....	250
Tabela 5.10 - Resumo das análises de variâncias para as variáveis diâmetro, comprimento e peso da espiga despalhada. Aquiraz - CE, 2009 .....	251
Tabela 5.11 - Médias do diâmetro, comprimento e peso das espigas despalhadas em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2009 .....	251

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – análise de variância  
ANP – Agência Nacional do Petróleo  
AP – altura da planta  
C/N – relação carbono nitrogênio  
CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará  
CONAB – companhia nacional de abastecimento  
CTC – capacidade de troca de cátions  
d.C – depois de Cristo  
DAS – dias após semeadura  
DAS – dias após a semeadura  
DBO – demanda bioquímica de oxigênio  
DC – diâmetro do caule  
DEHA – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
*E.coli* - Escherichia coli  
ETE – estação de tratamento de esgoto  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
EUA – Estados Unidos da América  
FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBM - International Business Machines Corporation  
IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura  
MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário  
NBR – Norma Brasileira  
NC – não coletado  
NMP – numero mais provável  
NPKS – nitrogênio fósforo potássio enxofre (fertilizante comercial)  
NR - número de racemos  
NTK - nitrogênio total kjeldahl  
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico  
pH – potencial hidrogeniônico  
PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

PST – percentual de sódio trocável

SNIS - Sistema Nacional de Informação Saneamento

SPSS- Statistical Package for Social Science

TCA - taxa de crescimento absoluto

TCAap – taxa de crescimento absoluto em altura da planta

TCAdc - taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar

TCR - taxa de crescimento relativo

TCRap - taxa de crescimento relativo em altura da planta

TCRdc - taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar

UFC – Universidade Federal do Ceará

WSSCC - Water Supply & Sanitation Collaborative Council Wash

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzman  
 $\eta$  - Eficiência de energia do sistema  
 $\varepsilon$  - emissividade da superfície  
 $\varphi$  - fator de forma de radiação  
 $\rho$  - refletividade  
 $\mu\text{gNO}_2^-/\text{L}$  - micrograma de nitrito por litro  
 $\mu\text{gNO}_3^-/\text{L}$  – micrograma de nitrato por litro  
 $\mu\text{S}/\text{cm}$  – microsiemens por centímetro  
 $^\circ\text{C}$  – graus Celsius  
 $\text{cm. dia}^{-1}$  – centímetros por dia  
 $\text{cm.cm}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  – centímetros por centímetro por dia.  
 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  – centimol de carga por quilograma  
 $\text{dag.kg}^{-1}$  – decagrama por quilograma  
E - poder emissivo  
 $\text{g}/\text{cm}^3$  - gramas por centímetros cúbicos  
 $\text{gN}/\text{planta}$  – gramas de nitrogênio por planta  
h – coeficiente de transferência de calor por convecção  
I - insolação  
J - radiosidade  
K - kelvin  
Kg – quilograma  
 $\text{kg.ha}^{-1}$  – quilogramas por hectare  
 $\text{kg}/\text{hab.ano}$  – quilogramas por habitante ano  
 $\text{kgf}/\text{cm}^2$  – quilograma-força por centímetro quadrado.  
 $\text{kgN.ha}^{-1}$  – quilogramas de nitrogênio por hectare  
 $\text{L.h}^{-1}$  – litro por hora  
 $\text{m.s}^{-1}$  – metros por segundo  
mg – miligramas  
 $\text{mg Cd}/\text{kg P}$  – miligrama de cádmio por quilograma de fósforo.  
 $\text{mg.L}^{-1}$  – miligramas por litro  
 $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$  – miligrama de carbonato de cálcio por litro

mgK-total/L - miligramas de potássio total por litro

mgNH<sub>3</sub>-N/L – miligramas de amônia por litro

mgN-total/L – miligramas de nitrogênio total por litro

mgP-total/L - miligramas de fósforo total por litro

mL – mililitros

mm - milímetro

mm. dia<sup>-1</sup> – milímetros por dia

mm.mm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> – milímetros por milímetro por dia

mS.cm<sup>-1</sup> - milisiemens por centímetro

ORP – potencial de oxidação-redução.

Q – energia fornecida ao sistema

t.ha<sup>-1</sup> – toneladas por hectare

UFC.mL<sup>-1</sup> – unidade formadora de colônia por mililitro

uH – unidade Hazen

uT – unidade de turbidez

W - watts

W.m<sup>-2</sup> – watt por metro quadrado

W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup> – Watt por metro quadrado por kelvin elevado a quarta potência.

## SUMÁRIO

<b>1º CAPÍTULO</b> .....	<b>29</b>
PREÂMBULO .....	30
REFERÊNCIAS .....	32
<b>2º CAPÍTULO</b> .....	<b>33</b>
1. O ESCOPO E O OBJETIVO DA PESQUISA.....	34
1.1. Princípios norteadores .....	37
1.2. Arquitetura organizacional da tese.....	38
2. Objetivo Geral .....	41
2.1. Objetivos Específicos.....	41
2.1.1. Capítulo 3:.....	41
2.1.2. Capítulo 4:.....	41
2.1.3. Capítulo 5:.....	42
REFERÊNCIAS .....	42
<b>3º CAPÍTULO</b> .....	<b>44</b>
RESUMO .....	45
ABSTRACT .....	46
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	47
1.1. Saneamento centralizado x descentralizado.....	47
1.2. Ecossaneamento: uma prática milenar .....	50
1.3. Comparativo entre o saneamento convencional e o ecológico .....	52
1.4. Caracterização da urina .....	57
1.4.1. Produção per capita .....	58
1.4.2. Composição físico-química.....	58
1.4.3. Patógenos na urina .....	62
1.5. Alternativas de tratamento e recuperação dos nutrientes contidos na urina .....	64



2. MATERIAL E MÉTODOS.....	71
2.1. Localização da área de estudo.....	71
2.2. Aceitabilidade do ecossaneamento em comunidade peri-urbana.....	71
2.2.1. Pré-diagnóstico socioeconômico e ambiental .....	73
2.2.2. Análise da qualidade da água de chuva.....	73
2.2.3. Aplicação de questionários de reconhecimento .....	73
2.2.4. Oficinas participativas de educação sanitária. ....	74
2.2.5. Aplicação de questionários para avaliar a aceitação de sanitários ecológicos.....	75
2.2.6. Estudo Estatístico .....	76
2.3. Caracterização quanti-qualitativa da urina visando ao uso na agricultura.....	76
2.3.1. Parâmetros.....	78
2.3.2. Avaliação da simples estocagem como técnica de tratamento da urina.....	79
2.3.2.1. Análises matemáticas .....	80
2.4. Estudo da concepção do concentrador solar parabólico .....	81
2.5. Fabricação e desenvolvimento do protótipo. ....	85
2.5.1. Escolha dos materiais.....	85
2.5.2. Instrumentação do concentrador solar .....	91
2.5.3. Instrumentação na estação agrometeorológica.....	91
2.5.4. Automação do sistema .....	92
2.6. Procedimentos e ensaios .....	92
2.6.1. Acidificação da urina .....	92
2.6.2. Ensaios com o protótipo.....	92
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	94
3.1. Aceitabilidade do ecossaneamento em comunidade peri-urbana.....	94
3.1.1. Pré-diagnóstico socioeconômico e ambiental .....	94
3.1.1. Oficina de Educação Sanitária .....	98
3.1.2. Satisfação quanto à infraestrutura e percepção do ecossaneamento .....	98

3.2. Caracterização qualitativa da urina .....	103
3.2.1. Composição físico-química.....	103
3.2.2. Composição microbiológica .....	112
3.3. Armazenamento e higienização da urina humana.....	114
3.4. Estudo da concepção do concentrador solar parabólico .....	120
3.4.1. Testes preliminares.....	124
3.4.1.1. Acidificação da urina.....	124
3.4.1.2. Ensaaios com o protótipo .....	124
a) Tubo de 100 mm .....	124
b) Tubo de 22 mm .....	128
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	133
4.1. Conclusões .....	133
4.2. Recomendações.....	134
REFERÊNCIAS .....	135
<b>4º CAPÍTULO.....</b>	<b>151</b>
RESUMO .....	152
ABSTRACT .....	153
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	154
1.1. A matriz energética e o desenvolvimento sustentável .....	154
1.2. Utilização da urina como fertilizante natural em culturas energéticas .....	155
1.3. A cultura da mamona .....	156
1.4. Mamona para produção do Biodiesel.....	157
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	160
2.1. Localização e Caracterização da área experimental.....	160
2.1.1. Clima.....	160
2.1.2. Solo .....	161
2.2. Delineamento experimental e tratamentos empregados.....	161

2.3. Cálculo da demanda de urina e aplicação .....	165
2.4. Manejo da irrigação.....	166
2.5. Semeadura e tratos culturais.....	167
2.6. Colheita e beneficiamento.....	168
2.7. Variáveis de crescimento avaliadas .....	168
2.7.1. Altura de plantas .....	168
2.7.2. Diâmetro do caule .....	169
2.7.3. Número de racemos.....	169
2.7.4. Taxas de crescimento absoluto e relativo (TCA, TCR) .....	169
2.8. Variáveis de produção avaliadas .....	170
2.8.1. Comprimento do racemo.....	170
2.8.2. Número de frutos por racemo .....	171
2.8.3. Número de frutos por planta .....	171
2.8.4. Peso de frutos por planta .....	171
2.8.5. Peso de mil sementes .....	171
2.8.6. Produtividade das sementes .....	172
2.8.7. Teor de óleo.....	172
2.9. Sistematização dos dados.....	172
2.10. Avaliação do impacto da aplicação da urina no solo .....	173
2.11. Análise estatística.....	174
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	175
3.1. Avaliações das variáveis de crescimento .....	175
3.1.1. Altura de plantas, diâmetro de caule, número de racemos.....	175
3.1.1.1. Análise estatística .....	182
3.1.2. Taxas de crescimento absoluto e relativo para altura da planta e diâmetro caulinar. ...	184
3.2. Injúrias na mamoneira com aplicação da urina.....	192
3.3. Avaliações das variáveis de produção da mamoneira.....	194

3.3.1. Comprimento do racemo, número de frutos e peso de frutos por planta .....	194
3.3.1.1. Análise estatística .....	195
3.3.2. Peso de mil sementes, Produtividade e Teor de Óleo. ....	197
3.4. Avaliações do impacto da urina no solo .....	203
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	207
4.1. Conclusões .....	207
4.2. Recomendações .....	208
REFERÊNCIAS .....	209
<b>5º CAPÍTULO .....</b>	<b>218</b>
RESUMO .....	219
ABSTRACT .....	220
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	221
1.1. Utilização da urina como fertilizante natural em culturas alimentícias. ....	221
1.2. A cultura milho: importância, características e produtividade.....	225
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	229
2.1. Localização e Caracterização da área experimental.....	229
2.1.1. Clima.....	229
2.1.2. Solo .....	229
2.2. Delineamento experimental e tratamentos empregados.....	230
2.3. Cálculo da demanda de urina e aplicação .....	232
2.4. Manejo da irrigação.....	232
2.5. Semeadura e tratos culturais.....	233
2.6. Colheita e beneficiamento.....	234
2.7. Variáveis avaliadas.....	235
2.7.1. Altura da planta .....	235
2.7.2. Índice de espiga (IE) .....	235
2.7.3. Diâmetro de espiga sem palha (DE).....	235

2.7.4. Comprimento de espiga sem palha (CE).....	235
2.7.5. Peso e Produtividade das espigas (P).....	235
2.8. Análise estatística.....	236
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	237
3.1. Avaliações das variáveis de crescimento e produção .....	237
3.1.1. Altura da planta.....	237
3.1.1. Índice de espiga (IE) .....	240
3.1.1. Diâmetro de espiga sem palha (DE).....	240
3.1.1. Comprimento da espiga.....	241
3.1.1. Peso das espigas sem palha.....	244
3.2. Análise Estatística .....	248
3.3. Potencial Praguicida.....	253
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	255
4.1. Conclusões .....	255
4.2. Recomendações.....	256
REFERÊNCIAS .....	257
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-DIAGNÓSTICO .....	265
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE ACEITABILIDADE DO ECOSSANEAMENTO.....	269

# 1° CAPÍTULO

---

## PREÂMBULO

O acesso aos serviços de saneamento básico apropriados é a principal ferramenta de combate aos efeitos deletérios causados pela poluição, em termos de agravo da saúde humana, qualidade de vida e danos ecológicos.

Tanto os países em desenvolvimento quanto os desenvolvidos possuem problemas referentes ao setor de saneamento. Enquanto os desenvolvidos se preocupam em atender os parâmetros de eficiência cada vez mais rigorosos com a finalidade de preservar o meio ambiente, e conseqüentemente demandando tecnologias cada vez mais avançadas e de grande investimento, os países em desenvolvimento possuem um elevado déficit de saneamento básico, em que o problema, além de abranger aspectos ambientais, também constitui um objeto de saúde pública.

É sabido que o acesso aos serviços de saneamento básico é condição necessária para constituir o direito de cidadania e a dignidade da população. Sem saneamento adequado não é possível haver crescimento econômico, social e ambiental. Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, um dos objetivos essenciais do desenvolvimento sustentável. Vale ressaltar que o saneamento que visa à sustentabilidade deve ser pautado em sistemas que possuem capacidade técnica, operativa e de pagamento condizentes às peculiaridades locais.

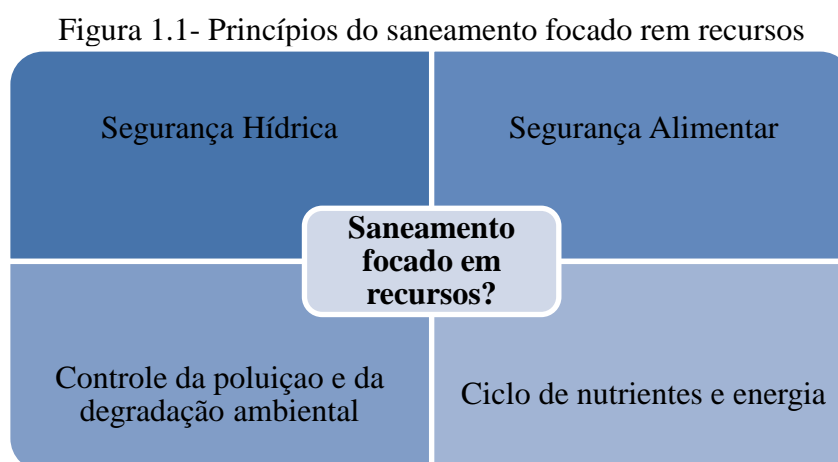
É notório que para o funcionamento, desenvolvimento e manutenção de qualquer sistema que por mais fundamental que seja, são necessárias “entradas” ou “inputs”. O sistema de produção de alimentos possui a sua segurança e sustentabilidade baseadas no fornecimento de recursos naturais, como água, energia e nutrientes (inputs). Esse sistema é apenas um subsistema que integra e complementa-se com vários outros, proporcionando a vida no planeta Terra. Sua continuidade e, portanto, a garantia das gerações futuras, só é possível através do conceito de desenvolvimento sustentável, que adota o paradigma do crescer planejando suas ações de forma harmônica com o meio ambiente, buscando reduzir, reusar e reutilizar seus recursos e insumos.

Conseqüentemente, todo sistema exporta ao meio suas “saídas” ou “outputs”, aqui, no âmbito do saneamento, denominados por conveniência de resíduos e/ou excretas. A forma como são vistos, compreendidos, destinados e utilizados determinará a sustentabilidade do meio ambiente. Portanto, a melhor estratégia em consonância com a sustentabilidade é reutilizá-los, tendo como referência o modelo da natureza de reciclar a matéria e energia. Em

um ecossistema equilibrado não existe rejeito, ou seja, os “outputs” de um organismo são os “inputs” de outro (STEINFELD; DEL PORTO, 2007).

É, portanto, a partir deste conceito, que o saneamento focado em recursos está fundamentado. O saneamento focado em recursos ou ecossaneamento tem como princípio básico o estímulo ao fluxo cíclico de recursos e energia a partir de um manejo e gerenciamento ecológico e economicamente sustentáveis dos sistemas de destinação dos excretas fundamentados nas demandas locais. No ecossaneamento, os nutrientes e a matéria orgânica contidos no excreta humana são considerados como um recurso, favorecendo a produção de alimentos de modo ecológico e seguro.

Difundido e estudado como uma filosofia e tecnologia alternativa ao saneamento convencional, o ecossaneamento procura atender aos maiores desafios da atualidade, sendo considerada uma opção que ajuda a alcançar os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006). A figura 1.1 apresenta os principais desígnios de alcance direto do saneamento focado em recursos: segurança hídrica, segurança alimentar e o controle da poluição e degradação ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

As experiências com a aplicação do saneamento focado em recursos no mundo indicaram e estão indicando um aumento da produção e conseqüentemente uma melhora da situação nutricional, uma redução da poluição a jusante do corpo receptor dos efluentes, a promoção da reciclagem de nutrientes e uma racionalização no uso da água.

Logo, a elaboração desta tese objetiva não apenas pesquisar e difundir tecnologias, mas apresentar opções não convencionais que venham somar conhecimento aos sistemas existentes de saneamento para sensibilizar os tomadores de decisões no Brasil, com o



ênfoque a auxiliar na resolutividade dos principais problemas que inquietam o homem moderno.

## REFERÊNCIAS

STEINFELD, C.; DEL PORTO D. **Reusing the resource: Adventures in ecological wastewater recycling**. EcoWaters. 2007.

KVARNSTRÖM, E.; EMILSSON, K.; STINTZING, A. R.; JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; PETERSENS, E.; SCHÖNNING, C.; CHRISTENSEN, J.; HELLSTRÖM, D.; QVARNSTRÖM, L.; RIDDERSTOLPE, P.; DRANGERT, J. **Separação de urina: Um passo em direção ao saneamento sustentável**. Programa EcoSanRes. Stockholm Environmental Institute – SEI. 2006. Disponível em: [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org). Acesso em: 16 dez. 2010.

## 2°CAPÍTULO

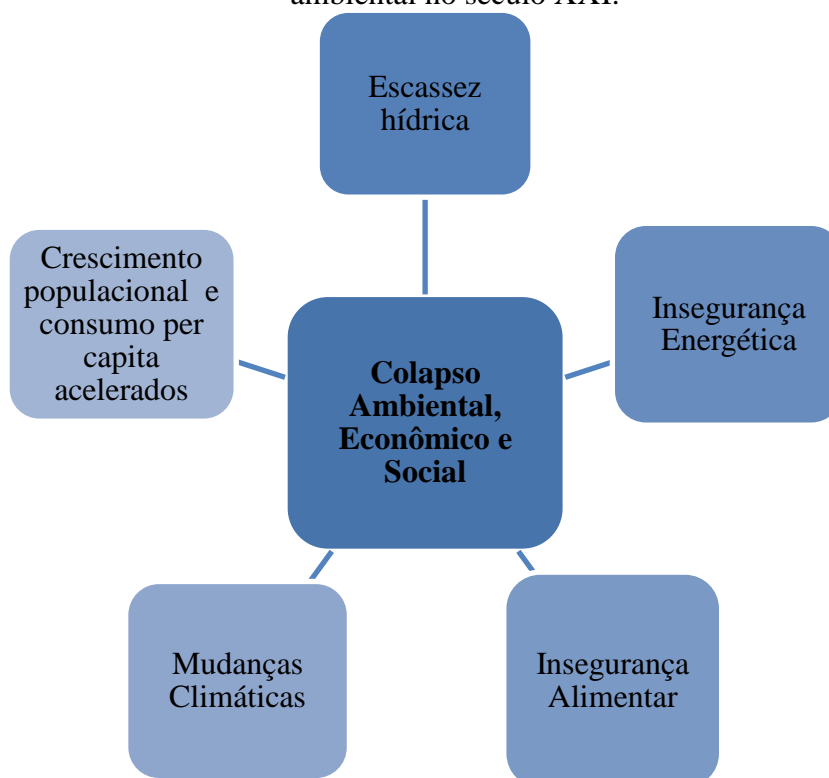
---

## 1. O ESCOPO E O OBJETIVO DA PESQUISA

Com uma população mundial que ultrapassa os sete bilhões de habitantes, e crescendo a uma taxa que até a metade do século XXI serão mais de nove bilhões de pessoas residindo no planeta Terra, vários são os desafios a serem enfrentados pelo homem nos próximos anos e décadas. A insegurança alimentar, o adensamento populacional em áreas urbanas de forma acentuada e desordenada, a insegurança hídrica e energética, e as mudanças climáticas, estão entre os maiores desafios a serem enfrentados pela humanidade.

Estes desafios estão esquematizados na figura 2.1, em que cada ponta do pentágono caracteriza um problema, e quando os mesmos atuam de forma sinérgica, resultam no colapso ambiental, econômico e social apresentado ao centro do pentagrama.

Figura 2.1– Principais desafios e consequências voltados para o setor do saneamento ambiental no século XXI.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

É importante considerar que apesar de todo o desenvolvimento tecnológico alcançado nos últimos anos e o aporte financeiro destinado à pesquisa, o homem não está conseguindo gerir nem solucionar esses problemas de causas conhecidas, mas que, no entanto, possuem implicações globais muitas vezes desconhecidas. Hoje, existem vários estudos,

modelos, simulações e “especulações” sobre as possíveis consequências do padrão de desenvolvimento praticado pelo homem, sem, contudo, poder prever de forma clara seus impactos no ambiente e na saúde pública. Sabe-se, no entanto, que para equacionar os problemas que vêm sendo edificados por mais de três décadas, as tecnologias desenvolvidas até hoje são apenas complemento, uma vez que a quebra do paradigma e a revolução no pensar da sociedade são os carros-chefes para alcançar a sustentabilidade.

Neste cenário, é elucidativo notar que, embora o esquema da figura 2.1 apresente problemas de efeitos globais, os países em desenvolvimento, por não disporem de um sistema de infraestrutura adequada, deverão ser os mais prejudicados. Se por um lado, as mudanças climáticas são responsáveis por enchentes, inundações e destruição de cidades, por outro existe a exaustão das reservas hídricas de qualidade satisfatória para consumo. A situação de maior precariedade se encontra nos bolsões de pobreza, nas favelas, nas periferias das cidades, na zona rural, principalmente em áreas difusas, pois além da escassez, essa população não dispõe de uma infraestrutura adequada de saneamento básico.

O meio ambiente é um tema que supera todas as diferenças de raças, crenças, religiosidades, cor, etnia e tradição. Apesar de tardiamente, a sociedade começa a apresentar passos lentos com o objetivo de viver de forma harmônica com a natureza, respeitando seus limites de exploração. Nesses últimos anos, o termo sustentabilidade está começando a deixar de fazer parte apenas do meio acadêmico, entre estudiosos e pesquisadores, para tomar dimensões mais audaciosas dentro da sociedade civil e tornando-se discussão prioritária nas cúpulas governamentais.

Dentro da visão do despertar para as questões ambientais, vários governos de diferentes países, principalmente, os desenvolvidos - Suécia, Alemanha, Holanda, Canadá, dentre outros – desenvolvem e implementam tipologias de saneamento que possuem as características de promoção da sustentabilidade e conseqüentemente a geração de menos impactos (prejuízos) para o meio ambiente, tendo como princípio norteador o combate às mudanças climáticas e outros fenômenos ambientais de caráter global. Não obstante, com exceção de poucos países da África, Ásia e América Central, paradoxalmente, os países que mais sofrem com esses impactos – países em desenvolvimento - são os que menos apresentam, aparentemente, interesse em discutir e pesquisar tecnologias de saneamento ambientalmente corretas e de baixo impacto energético, visto o pouco investimento e conhecimento destinados ao desenvolvimento e aprimoramento dessas tecnologias.

Mesmo com alguns programas específicos para o avanço na infraestrutura no Brasil, ainda hoje, menos de 55% das residências estão conectadas à rede de esgotamento público, e aproximadamente 88% possuem água distribuída pela rede pública (IBGE, 2010). Os custos de energia elétrica estão subindo, bem como dos fertilizantes e conseqüentemente dos alimentos. Os recursos hídricos acessíveis ao homem estão cada vez mais escassos, enquanto a população aumenta. A água já pode ser considerada um bem em processo de escassez, fazendo com que a utilização de energia se intensifique. Estes problemas podem ser traduzidos em números ameaçadores aos sistemas econômico, social e ambiental, os quais são descritos logo abaixo e que serviram como fatores motivadores para a construção desta tese.

- 884 milhões de pessoas no mundo não possuem acesso a fontes de água segura. (WHO/UNICEF, 2008).
- Mais de 40% da população mundial carecem de serviços seguros e apropriados de saneamento (HALLU & TSUKADA, 2009).
- 2,6 bilhões de pessoas sem acesso ao sanitário ou latrina higiênica e 1,1 bilhão defecam no chão, a céu aberto - dados de 2008 (WHO, 2011).
- Em 2009, o custo de uma internação por infecção gastrointestinal no Sistema Único de Saúde (SUS) foi de cerca de R\$ 350 na média nacional (INSTITUTO TRATA BRASIL/FGV, 2010).
- Por dia, no Brasil, sete crianças morrem vítimas de diarreia, e mais de 700 mil pessoas são internadas por ano em hospitais públicos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2011).
- Moradores de residências sem acesso à coleta de esgoto têm probabilidade maior de afastamento de suas atividades, afetando diretamente a economia da região (INSTITUTO TRATA BRASIL/FGV, 2010).
- O consumo total de energia dos setores de água e esgoto irá crescer globalmente nos próximos 20 anos numa previsão de 33% (ÁGUA E ENERGIA, 2002).
- Oito dentre dez usuários de sistemas inapropriados de saneamento vivem em áreas rurais (WHO/UNICEF, 2008).
- Segundo as estimativas da Organização Mundial de Saúde, aproximadamente 150.000 mortes ocorrem por ano nos países em desenvolvimento devido às mudanças climáticas que causam baixa produtividade agrícola, desnutrição, diarreia, malária e enchentes. Aproximadamente, 85% dessas mortes acometeram crianças (WHO, 2009).
- Em 2008, apenas 55% dos municípios no Brasil possuíam redes coletoras de esgoto (IBGE, 2011).

- A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) estimou que, em 2010, 925 milhões de pessoas sofreram por desnutrição, o que representa quase 16% da população dos países em desenvolvimento (FAO, 2010).

A presente tese tem como objetivo integrar todos os desafios anteriormente citados e propor soluções sustentáveis por meio de conceitos e tecnologias de saneamento descentralizado, especificamente o ecossaneamento. A descentralização do saneamento é um instrumento na busca pelo desenvolvimento sustentável, pois tem como enfoque a efetiva participação social, a identificação e definição de alternativas capazes de suprir as demandas locais sem comprometer os recursos naturais e a preocupação com a manutenção e longevidade do sistema, respeitando os recursos financeiros e humanos da região.

### **1.1. Princípios norteadores**

Essa pesquisa foi fundamentada nos princípios da sustentabilidade e equidade. Para tanto, foram considerados como norteadores os seguintes relatório, leis e metas:

- *Brundtland Report (World Commission on Environment and Development, 1987)*: desenvolvimento econômico e social que visa tanto ao crescimento financeiro quanto ao aumento da qualidade de vida e do bem-estar social, sempre em consonância com os limites de uso do meio ambiente, garantindo dessa forma o atendimento às necessidades das gerações futuras.
- Constituição Federal Brasileira (1988): Art. 225 – “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”
- Lei Federal nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico: Art. 48, em que a União observa as seguintes diretrizes no estabelecimento de sua política nacional de saneamento básico: item VII - *garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares*; item VIII - *fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico, à adoção de tecnologias apropriadas e à difusão dos conhecimentos gerados*.

- Decreto Federal nº 7217/2010, que regulamenta a Lei Federal nº 11.445 e traz como um dos objetivos da política federal de saneamento básico: *priorizar a implantação e a ampliação dos serviços e ações de saneamento básico nas áreas ocupadas por populações de baixa renda.*
- Agenda 21: Capítulo 6, que trata da proteção e promoção das condições da saúde humana, Capítulo 14, que trata da promoção do desenvolvimento rural e agrícola sustentável e Capítulo 18, que trata da proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos (AGENDA 21).
- Metas de Desenvolvimento do Milênio (MDM) apresentadas na Declaração do Milênio da Organização das Nações Unidas, e que se pretendem alcançar até 2015: Meta 1 – Erradicar a pobreza e a fome, Meta 4 – Reduzir a mortalidade infantil e Meta 7 – Garantir a sustentabilidade ambiental (UNDP, 2000).

## **1.2. Arquitetura organizacional da tese**

Essa pesquisa tem como foco central estudar a utilização de urina como fertilizante natural no cultivo agrícola. Contudo, este tema está intrinsecamente associado às tecnologias sustentáveis de saneamento, segurança alimentar, segurança hídrica, aquecimento global e questão energética.

Com o intuito de facilitar o entendimento e a leitura, a tese foi dividida em capítulos, conforme segue abaixo:

- Capítulo 1: traz o preâmbulo, pequeno texto introdutório ao tema.
- Capítulo 2: explica qual é o objetivo da pesquisa e esclarece como a tese foi concebida e elaborada.
- Capítulo 3: apresenta os principais conceitos, características e definições do saneamento descentralizado e ecológico, um estudo da aplicabilidade do ecossaneamento no Ceará, além de caracterizar quantitativamente e qualitativamente a urina humana, com vistas à sua aplicação na agricultura. Este capítulo traz uma revisão aprofundada, traçando um comparativo entre o ecossaneamento e o saneamento convencional. Tem, ainda, como proposta secundária desenvolver e investigar preliminarmente uma alternativa para concentrar e recuperar os nutrientes da urina por meio da captação e do aproveitamento de energia renovável.

- Capítulo 4: investiga o uso da aplicação da urina como biofertilizante na cultura da mamona, por meio do estudo dos aspectos agrônômicos, produtividade e comparações de tratamentos (doses do fertilizante), visando à produção do biodiesel. Será avaliado ainda o impacto da urina no solo.
- Capítulo 5: este capítulo é análogo ao anterior, contudo, o intuito do uso da urina está voltado para as questões de segurança alimentar, uma vez que será investigada a sua aplicação na cultura do milho, como uma forma sustentável e segura na produção de alimentos.

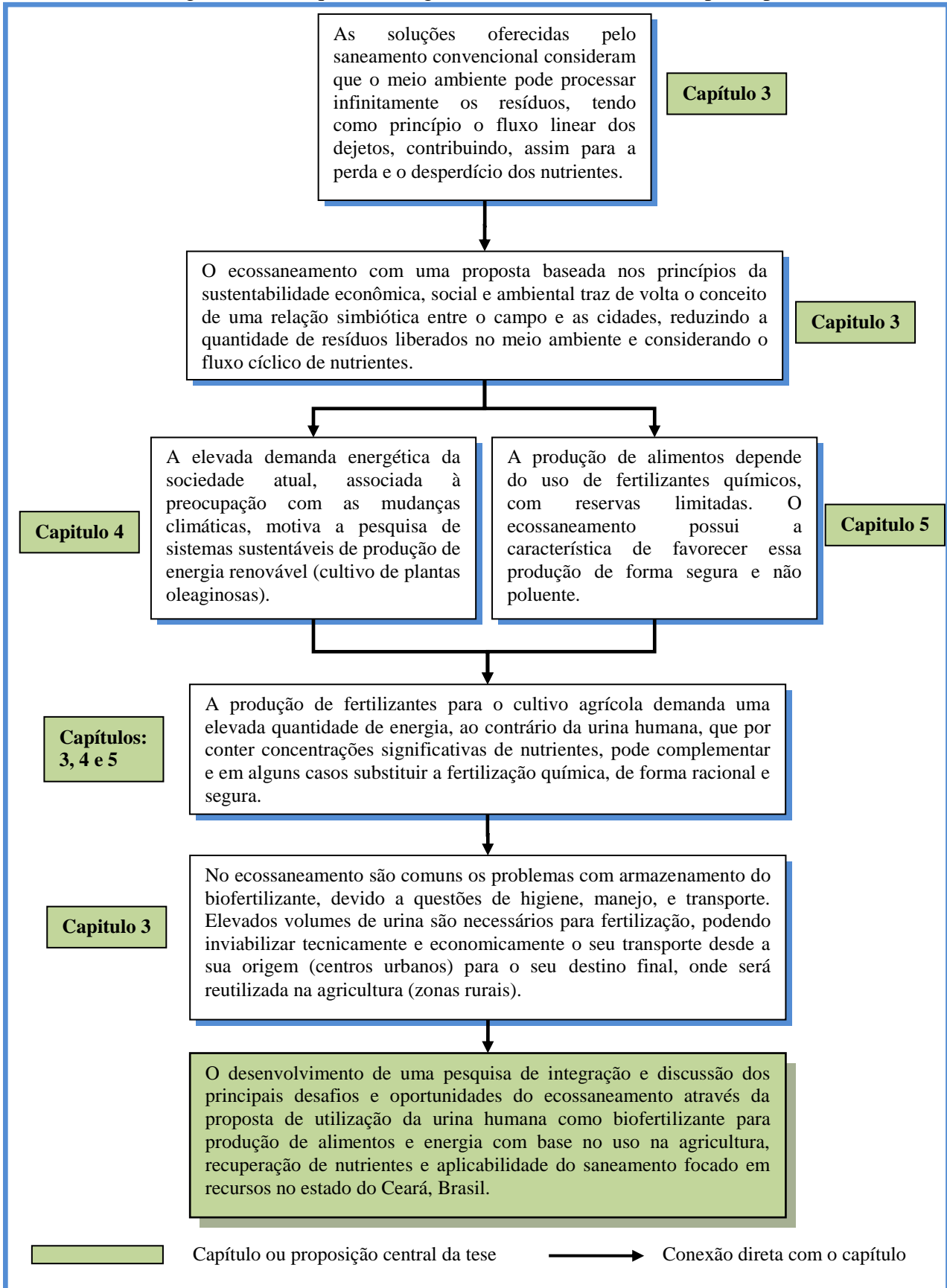
O processo construtivo da tese está esquematizado na figura 2.2. São apresentados quadros (caixas de textos) com os ensejos e as justificativas norteadoras para construção de cada capítulo, desencadeando fatores, que quando interligados resultam na proposição central da tese que é o desenvolvimento de uma pesquisa de integração e discussão dos principais desafios e oportunidades do ecossaneamento por meio de uma proposta de utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia com base no uso na agricultura, recuperação de nutrientes e aplicabilidade do saneamento focado em recursos no estado do Ceará, Brasil.

Este trabalho traz como inovação um estudo voltado às reais condições de aplicabilidade e replicabilidade do ecossaneamento em região semi-árida com solo com potencial risco de salinização. Todas as etapas, desde avaliação da aceitabilidade da separação de excretas em comunidade peri-urbana, caracterização da urina, perpassando pelas condições de armazenamento até sua real aplicação, em campo, na agricultura, foram idealizadas para bem além da pesquisa científica. As amostras de urina coletadas foram de pessoas que vivem em comunidade peri-urbana, que possuem hábitos alimentares distintos do homem urbano, os quais influenciam na composição da urina, e que poderão vir a ser beneficiadas com possíveis projetos voltados ao ecossaneamento. A composição destas amostras foi, ainda, de extrema importância para o cálculo das doses de urina utilizadas no cultivo da mamoneira e do milho híbrido. Já a pesquisa com o concentrador solar, segundo as condições de insolação e radiação locais, trouxe mais uma possibilidade de tecnologia a ser aprimorada e aplicada diretamente no tratamento e recuperação de nutrientes contidos na urina.

Faz-se oportuno esclarecer, que, cronologicamente, a pesquisa com o concentrador foi concretizada por último, entretanto, devido à realização apenas dos cálculos matemáticos para as condições climatológicas do Ceará, bem como dos testes preliminares de eficiência do protótipo, este assunto foi inserido e discutido no capítulo 3 (primeiro capítulo de resultados).



Figura 2.2 – Arquitetura organizacional da tese dividida por capítulos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

## **2. Objetivo Geral**

Avaliar processos e sistemas de saneamento focado em recursos a partir da utilização da urina humana como fertilizante natural por meio de sua aplicação na agricultura, recuperação de seus nutrientes e do estudo da viabilidade social do ecossaneamento em comunidade peri-urbana.

### **2.1. Objetivos Específicos**

#### **2.1.1. Capítulo 3:**

- Realizar um pré-diagnóstico socioeconômico e ambiental e avaliar a aceitação da implantação de sanitários ecológicos em comunidade peri-urbana no estado do Ceará.
- Caracterizar a urina da população de uma comunidade peri-urbana, segundo sexo e faixa etária, em função dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.
- Analisar o armazenamento como forma segura para o tratamento da urina.
- Desenvolver e dimensionar um concentrador solar para concentrar os nutrientes da urina.
- Avaliar a eficiência do protótipo em termos da transferência de energia a partir de diferentes diâmetros do tubo coletor.

#### **2.1.2. Capítulo 4:**

- Avaliar a possibilidade de uso da urina como biofertilizante na produção de cultura energética, mamona cultivar BRS Nordestina.
- Avaliar e comparar variáveis agronômicas: altura das plantas, comprimento, diâmetro, peso e quantidade de racemos, peso e número de frutos, teor de óleo e peso de 1000 sementes em tratamentos com diferentes doses de urina e fertilizante comercial.
- Avaliar a produtividade e a perda do potencial produtivo da mamona a partir dos diferentes tratamentos aplicados.
- Avaliar o impacto da aplicação da urina em solo com potencial de salinização no cultivo da mamona BRS Nordestina.

### 2.1.3. Capítulo 5:

- Avaliar a possibilidade de uso da urina como biofertilizante na produção de cultura alimentícia (milho híbrido).
- Avaliar e comparar variáveis agrônômicas: altura das plantas, comprimento, diâmetro das espigas de milho e produtividade em tratamentos com diferentes doses de urina e fertilizante comercial.

## REFERÊNCIAS

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio-Ambiente e Desenvolvimento**, 3º ed. Subsecretaria de Edições Técnicas. Senado Federal. Brasília. 2001.

ÁGUA E ENERGIA. **Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais**. Alliance – Aliança pra Conservação de Energia. 2002. Disponível em: [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/livros/agua\\_energia/aguaeenergia.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/livros/agua_energia/aguaeenergia.pdf). Acesso em: 26 de março de 2012.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food Insecurity in the World: Addressing food insecurity in protracted crises**. 2010. FAO. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/en/>. Acesso em: 26 set. 2010.

HALLU, D., TSUKADA, R. **Poverty in Focus: Equitable Access to Basic Utilities: Public versus Private Provision and Beyond**. International Policy Centre for Inclusive Growth, (IPC-IG), Poverty Practice, Bureau for Development Policy, UNDP, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E TECNOLOGIA – **Atlas do Saneamento**. 2011. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm). Acesso em: 12 fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E TECNOLOGIA – IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Brasil. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 12 nov. 2011.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento e saúde**. 2011. Disponível em: [http://www.tratabrasil.org.br/novo\\_site/cms/files/Pezco\\_12.05.11.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/novo_site/cms/files/Pezco_12.05.11.pdf). Acesso em: 27 set. 2011.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **United Nations Millennium Declaration.** 2000. Disponível em: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/mdgoverview/>. Acesso em: 12 jul. 2012.

INSTITUTO TRATA BRASIL/ FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento Brasileiro.** 2010 Disponível em: <<http://www.tratabrasil>>. Acesso em 20 jun. 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Health impact of climate change needs attention.** 2009. Media Centre. Disponível em: [http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2009/climate\\_change\\_20090311/en/](http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2009/climate_change_20090311/en/). Acesso em: 18 abr. 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Millennium Development Goals:** progress towards the health-related Millennium Development Goals. Fact sheet n° 290, mai., 2011. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/en/>. Acesso em: 20 set. 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION AND UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND – WHO/UNICEF. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (JMP). **Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation.** UNICEF, New York and WHO, Geneva, 2008.

## 3° CAPÍTULO

---

## ECOSSANEAMENTO: ACEITAÇÃO DA TECNOLOGIA, CARACTERIZAÇÃO, HIGIENIZAÇÃO E TRATAMENTO DA URINA HUMANA.

---

### RESUMO

A primeira etapa da pesquisa visou avaliar a aceitação dos princípios do ecossaneamento em uma comunidade peri-urbana no estado do Ceará, caracterizar a urina desta população segundo sexo e faixa etária, analisar seu armazenamento como forma de tratamento, bem como desenvolver um protótipo de concentrador solar parabólico e avaliá-lo preliminarmente em relação às temperaturas alcançadas na região de evaporação da água contida na urina. Foi verificada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de aceitação dos princípios do ecossaneamento considerando o aspecto de gênero. As mulheres se mostraram mais receptivas ao sanitário ecológico, enquanto os homens afirmaram preferir sanitários convencionais com água. Os resultados mostraram que apesar de 90% dos entrevistados terem respondido de forma satisfatória aos conceitos do saneamento focado em recursos, podendo utilizá-los no seu cotidiano; a baixa participação dos moradores nas capacitações e a desmobilização dos mesmos resultaram na desistência e rejeição do uso de sanitários ecológicos. As concentrações médias de nitrogênio, fósforo e potássio da urina da população peri-urbana foram iguais a 3,2; 0,2 e 0,6 kg/hab.ano. Foi possível observar diferenças de concentração de nutrientes entre as amostras pesquisadas (masculinas, femininas, de crianças e de idosos). O armazenamento mostrou-se um método de higienização de baixo custo e bastante eficiente para as condições de temperatura do Ceará, com um tempo de inativação de 90% de coliformes termotolerantes menor do que 1 dia e inativação total em apenas 14 dias. Os testes com o concentrador solar mostraram que comparando as concentrações de nitrogênio e fósforo na urina antes e depois do experimento com o tubo de 22 mm, o sistema promoveu um aumento de 18% e 13%, respectivamente, nas concentrações de nitrogênio e fósforo.

**Palavras-chave:** urina humana, armazenamento, tratamento, ecossaneamento, concentrador solar

## **ECOLOGICAL SANITATION: ACCEPTANCE TECHNOLOGY, CHARACTERIZATION, HYGIENIZATION AND URINE TREATMENT.**

---

### **ABSTRACT**

The objectives of the present research was to evaluate the acceptance of eco-sanitation in a peri-urban community in the state of Ceará; to characterize the composition of human urine, to investigate its storage as a treatment method, and also to develop a parabolic solar concentrator prototype and evaluate the temperatures reached in the region of evaporation of the water contained in the urine. There were statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) between men and women in acceptance of the principles of eco-sanitation. Women were more receptive to ecosan, while men said they would prefer flush toilets. Although 90% of the interviewee had responded positively to the concepts of ecological sanitation and also had agreed in urine diverting toilets, a low participation of them at the workshop drove the community to reject ecological sanitation. The mean concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in the urine of peri-urban population were equal to 3.2, 0.2 and 0.6 kg/per.year. There were differences in nutrient concentrations comparing the samples (male, female, children and the elderly). The storage proved to be a low cost and very effective treatment method considering the temperature of Ceará. The inactivation of 90% of thermotolerant coliform required less than 1 day, and the total inactivation was achieved in 14 days. The mathematical modeling results indicated that the larger the aperture of the parabola, the greater the heat transfer energy to the tube surface that receives urine. The tests with the solar concentrator showed that comparing the concentrations of nitrogen and phosphorus in urine before and after the experiment with 22 mm tube, the system promoted an increase of 18% and 13%, respectively, for nitrogen and phosphorus.

**Keywords:** human urine, storage, treatment, ecological sanitation, solar concentrator

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Saneamento centralizado x descentralizado

No Brasil e no mundo, a gestão do esgotamento sanitário, em sua maioria, é baseada em uma concepção tradicional, por meio de sistemas centralizados, em que as águas residuárias são coletadas e transportadas por longas distâncias e encaminhadas às grandes estações centralizadas de tratamento de efluentes. De acordo com Philippi *et al.* (2007), dentre outros aspectos, a sustentabilidade das sociedades está associada a sua capacidade de realizar uma gestão integrada e apropriada dos sistemas de saneamento. Para tanto, devem ser considerados a escassez, a distribuição diferenciada, a degradação, a crescente demanda do recurso água e a capacidade humana para gerenciar o sistema no âmbito operacional e financeiro.

Segundo Massoud (2009), as estações de tratamento de esgoto (ETE) representam um dos maiores investimentos no setor de saneamento básico, devido aos elevados custos de implantação e operacionalização. Paraskevas *et al.* (2002) complementam que o baixo orçamento disponível e a falta de técnicos especializados nos países em desenvolvimento resultam em uma operação inadequada das ETE, comprometendo todo o sistema de esgotamento sanitário. Adicionalmente, Esrey (2001) e Werner *et al.* (2009) evidenciam, ainda, que nos países em desenvolvimento onde existem as redes coletoras instaladas, em média 90% das águas residuárias são lançadas “in natura” ou com tratamento ineficiente nos corpos receptores. De acordo com o SNIS (2010), do esgoto gerado no Brasil, apenas 37,9% recebe algum tipo de tratamento.

Certamente, o modelo de saneamento convencional possui uma grande dificuldade em garantir a universalização dos serviços, no entanto, seu atendimento quando estabelecido cumpre as funções relacionadas com a oferta e demanda de água. Sistemas convencionais de tratamento de esgotos possuem seus méritos, particularmente onde já existem sistemas de coleta de esgoto implantados. Ademais, tecnologias convencionais promovem soluções já conhecidas e aceitas pela população (KROH, 2000). Vale observar, no entanto, que não faltam críticas a esse modelo quanto à sua capacidade em manter a sustentabilidade ambiental dos recursos naturais envolvidos no sistema de captação e destinação final no ciclo urbano da água (HARREMÕES, 1997; OTTERPOHL *et al.*, 1997; BUTLER; PARKINSON, 1997 *apud* FRANCI 2006).



Atualmente, as tecnologias centralizadas de saneamento possuem alta eficiência e, graças às pesquisas, estão cada vez mais aperfeiçoadas e avançadas. Lens *et al.* (2001) descrevem que existem várias vantagens para esse tipo de sistema. Particularmente, a facilidade do controle do processo de tratamento de esgoto é a maior vantagem, reduzindo custos de automação e pessoal e permitindo uma alta confiabilidade e eficiência no manejo. Por outro lado, o custo de investimento e manutenção é o seu maior entrave, sendo considerada como uma tecnologia economicamente inviável e inapropriada para os países em desenvolvimento (LOSONCY, 2007; PATERSON *et al.*, 2007). Estimando o custo de implantação de sistemas centralizados necessários para todos os países, Lens *et al.* (2001) afirmam que a capacidade de pagamento do mercado financeiro global seria insuficiente para cobrir todos os gastos de investimento.

De acordo com Werner *et al.* (2009), Werner *et al.* (2004) e Hermann (2000), as principais desvantagens do saneamento centralizado são:

- Baixo índice de esgoto tratado, menos de 10%;
- Poluição dos corpos d'água por nutrientes, patógenos, fármacos, hormônio, metais, etc;
- Danos ambientais devido à eutrofização;
- Uso de água de boa qualidade para o transporte de excretas;
- Elevado custo de investimento, energia e manutenção;
- Desvalorização dos nutrientes e elementos traços presentes nos excretas;
- Produção e disposição de lodo de esgoto de forma inadequada.

O saneamento tradicional centralizado, existente há mais de 100 anos (QUITZAU, 2007), é mundialmente conhecido por ser um sistema que apresenta altas taxas de consumo de água e que beneficia os mais e negligencia os menos favorecidos (WERNER, 2004). Este sistema possui a propriedade de misturar pequenas quantidades de substâncias potencialmente perigosas com grandes volumes de água, multiplicando dessa forma a magnitude do problema (LANGERGRABER; MUELLEGGER, 2005). Verifica-se, ainda, a partir desta diluição, o uso de uma água, na maioria das vezes de boa qualidade, que pode ser utilizada para beber, com um fim apenas de destinar o mais longe possível os excretas humanas.

Junior e Philippi (2005) relacionam o baixo índice de esgotamento sanitário registrado nas cidades brasileiras à visão centralizadora do saneamento adotada no país, que contempla a utilização de grandes sistemas de coleta e tratamento de esgoto. WSSCC (2003) afirma que, na maioria dos países em desenvolvimento, apenas 1% a 2% do gasto

governamental é direcionado para projetos de saneamento de baixo custo. Uma das causas da crise da água é exatamente a obsessão que muitos países têm por construções grandiosas, sistemas de tratamento de grande porte e centralizados, que não podem ser mantidos por recursos locais. Enquanto uma minoria dispõe de um serviço moderno, a grande maioria vive sem nenhum benefício.

Contraopondo-se a esse contexto, nasce o conceito de saneamento descentralizado de esgotos, definido, segundo Philippi *et al.* (2007), como a coleta, o tratamento e a disposição final/reúso dos efluentes em residências, condomínios, bairros, comunidades isoladas, indústrias ou instituições, ocorrendo, portanto, a redução do transporte do esgoto, e evitando dessa forma a sua transposição por microbacias hidrográficas.

As principais características e vantagens de um sistema descentralizado apontadas por Philippi *et al.* (2007); Viet Anh *et al.* (2003); Kalbermatten (1980); Robinson (2005); Aisse (2000) e Esrey (2001) são:

- Soluções mais adequadas às realidades locais;
- Alternativa altamente viável às comunidades dispersas, principalmente em zonas rurais;
- Fortalecimento das comunidades locais;
- Participação e controle social;
- Redução do custo energético, com a provável eliminação de elevatórias e reservatórios;
- Geração de oportunidades de reutilização local dos efluentes;
- Recuperação de recursos importantes, como nutrientes para uso agrícola;
- Problemas em uma unidade simples não causam colapso em todo o sistema;
- Desenvolvimento de potencialidades locais, gerando oportunidade de emprego e renda para os profissionais da região que trabalham em projetos, operação e manutenção dos pequenos sistemas de tratamento de esgoto.

Adicionalmente, duas vantagens dos sistemas descentralizados devem ser ressaltadas: a capacidade de tratar os efluentes utilizando tecnologias de baixo custo e ainda a oportunidade de reusar e aproveitar os produtos pós-tratados “in loco” (VIET ANH *et al.*, 2003), diferentemente dos sistemas centralizados onde são utilizadas longas redes de esgotamento com custos de implantação inviáveis, que possuem apenas a função de encaminhar os excretas o mais distante possível do ponto de geração, e eventualmente reusá-los (VENHUIZEN, 1986; ESREY, 2001).

Viet anh *et al.* (2003) acrescentam ainda que esse modelo de saneamento não apenas reduz os impactos no meio ambiente e na saúde pública, mas também incrementa significativamente a prática do reúso de efluentes, dependendo das características locais da comunidade e do tipo de tecnologia adotada, constituindo-se, portanto, um sistema promissor, especialmente para os países em desenvolvimento.

Losoncy (2007) aponta duas fortes razões a serem consideradas para abandonar o modelo atual de saneamento (centralizado) e adotar os sistemas descentralizados. A primeira, de ordem econômica, está voltada para o elevado custo de implantação, operação, manutenção e reparação dos sistemas centralizados que são convertidos em taxas e/ou tarifas a serem pagas pelos usuários do sistema. Custos esses que se iniciam desde a aquisição das áreas requeridas para os grandes sistemas, como por exemplo, as lagoas de estabilização, até a escavação e construção das longas redes que coletam os efluentes. Este autor afirma, ainda, que quanto maior o comprimento da rede, maior será a probabilidade da ocorrência de rompimentos e vazamentos, caracterizando-se a proporcionalidade direta entre o tamanho do sistema e seu custo operacional. Ao encontro da Lei Federal nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2007) e traz à operacionalização e manutenção do sistema de saneamento de responsabilidade da esfera municipal, Losoncy (2007) declara que o saneamento, hoje, faz parte dos custos fixos e permanentes do município, bastante onerosos, e repassados para o usuário final. A segunda razão de ordem ambiental retrata as consequências do que pode acontecer ao meio ambiente quando os sistemas de grande porte não funcionam corretamente e/ou entram em colapso. Quando isso acontece, as águas residuárias, simplesmente, são encaminhadas e lançadas aos corpos d'água sem tratamento algum.

Pesquisas conduzidas em várias cidades revelaram um índice elevado de vazamentos em redes de esgoto causando contaminação de águas subterrâneas. De forma recíproca, essas mesmas rupturas na tubulação podem causar a infiltração de água e consequentemente um aumento da carga hidráulica, prejudicando o tratamento nas ETE, devido tanto à diluição do esgoto quanto ao acréscimo de sua vazão (LENS *et al.*, 2001).

## **1.2. Ecosaneamento: uma prática milenar**

Até o período da Revolução Industrial, havia uma relação bastante harmônica e simbiótica entre os campos e as cidades. Enquanto, os alimentos cultivados e produzidos nos

campos beneficiavam as cidades, o adubo e a matéria orgânica gerados nesta última subsidiavam a agricultura, ou seja, a produção de alimentos (COHIM; KIPERSTOK, 2008). Segundo Rodrigues; Aquino (2005), o aproveitamento dos excretas humanas foi praticado nas grandes cidades, como forma de descarte de seus dejetos. Nas cidades europeias com população superior a 1.000.000 de habitantes, o lodo de esgoto era coletado e entregue aos agricultores para ser usado como fertilizante. Ainda conforme os mesmos autores, essa prática não era muito difundida nos países ocidentais, mas se espalhou ainda pelos Estados Unidos, México, dentre outros, sendo, à época, o único método de disposição de resíduos disponível.

Nas nações europeias, a prática do aproveitamento de excretas ainda se fazia bastante presente em meados do século XIX. Na capital francesa, estas eram dispostas em grandes tanques, tipo fossas impermeáveis. Uma vez cheias, eram esvaziadas e os dejetos encaminhados para a separação de líquidos e sólidos. Os sólidos, então, eram desidratados naturalmente e transportados para servirem como fertilizantes nas áreas rurais. Em 1842, existiam mais de 50.000 tanques impermeáveis em Paris, e um grupo de 200 a 250 pessoas fazia o trabalho de retirada de excretas, secagem e transporte para as áreas rurais. Na Inglaterra, o sistema balde, tradução para “pail system”, ou então, sistema Rochdale, nome este devido à sua difusão nesta cidade, foi bastante utilizado para dispor as fezes. Os mesmos eram esvaziados uma vez por semana pelas autoridades locais, misturadas com cinzas e cal, desidratadas e vendidas como fertilizantes (DEL PORTO; STEINFELD, 2000).

Mesmo após grandes construções, como os aquedutos em Roma que destinavam os esgotos para o rio Tiber e em Londres para o rio Tâmsa, a época entre 450 a 1750 d.C ficou conhecida como a era obscura quanto às questões sanitárias. Os resíduos líquidos ou sólidos começaram a ser descartados diretamente nas ruas, muitas vezes jogados pelas janelas das residências. Subsequente a essa época, a era das doenças, a partir dos surtos de cólera e tifo na Inglaterra, Edwin Chadwick, em 1842 propôs um sistema hidráulico que constituía na distribuição de água para o transporte dos excretas e lançamento nos corpos d’água. Esse sistema ganhou popularidade entre os londrinos, pois era capaz de afastar imediatamente os efluentes para bem longe das casas, evitando o uso das fossas. Com isso, verificou-se uma melhora nas condições sanitárias domiciliares, contudo transformou o rio Tâmsa numa fossa a céu aberto (LENS *et al.*, 2001).

O lançamento de esgotos nos corpos d’água veio a provocar diversos problemas de poluição, resultando no desenvolvimento de várias formas de tratamento das águas residuárias. Conforme Cohim; Kiperstok (2008), esse sistema de esgotamento de excretas se firmou definitivamente no final do século XIX, graças ao início da fabricação dos fertilizantes

químicos e ao desenvolvimento e aprimoramento das técnicas biológicas de tratamento de esgoto. Dessa forma, ficou então rompida a antiga ordem das sociedades orgânicas, e o sistema de saneamento ficou caracterizado pela adoção da lógica de fim de tubo.

Diferentemente dos países ocidentais, em alguns países orientais, o aproveitamento dos excretas é uma prática realizada há milhares de anos, que ainda hoje se faz presente, sobretudo na China, onde os agricultores os utilizam para a adubação orgânica nas plantações (RODRIGUES; AQUINO, 2005). Historicamente, estes países, principalmente, China, Japão e Coréia, são conhecidos pelo aproveitamento da urina e das fezes na agricultura (ESREY *et al.*, 1998).

Contudo, no mundo atual, o sistema mais difundido, aplicado e utilizado nos centros urbanos, sem margem de dúvidas, é o saneamento convencional, constituído de coleta, transporte do esgoto por longas distâncias, tratamento (quando existente) e destinação final em um corpo hídrico. Esse sistema, embora tenha alcançado sucesso na redução de epidemias de doenças de veiculação hídrica (COHIM; KIPERSTOK, 2008) e de possuir uma elevada aceitabilidade (KROH, 2000), não considera os aspectos ambientais no que se refere ao racionamento hídrico e no aproveitamento de nutrientes e matéria orgânica (WERNER, 2009; ESREY *et al.*, 2001).

Também conhecido como saneamento sustentável, o ecossaneamento considera a separação dos excretas como premissa fundamental para um eficaz tratamento. De acordo com Nakagawa *et al.* (2006), esse “novo” sistema incorpora tecnologias separadoras de excreta (bio-toilets, “urine-diverting”), onde converte o resíduo em recurso, como fertilizantes ou adubo orgânico, materiais que podem ser reaproveitados na agricultura.

### **1.3. Comparativo entre o saneamento convencional e o ecológico**

No âmbito ambiental, de acordo com Jönsson (2004); Narain (2004) e Werner *et al.* (2009), as soluções tradicionais de esgotamento sanitário baseadas no fluxo linear e que adotam o recurso hídrico como corpo receptor de todos os efluentes gerados tem contribuído continuamente e progressivamente ao agravamento de problemas como a eutrofização causada por nutrientes dos excretas humanas; a depleção de oxigênio dissolvido; o efeito negativo na biota aquática causada por hormônios femininos, especificamente o estrógeno; a contaminação causada por fármacos, dentre outras alterações de características físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos.

Segundo Narain (2003), os sistemas de esgotamento sanitário convencionais destroem totalmente o ciclo natural dos nutrientes, pois estes não favorecem o retorno dos nutrientes ao campo, sendo descartados e esquecidos nos sistemas aquáticos.

Contrário à sustentabilidade, sistemas de saneamento convencional utilizam, em sua grande maioria, água de boa qualidade que atende aos padrões de potabilidade – Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde - com a finalidade de transportar excretas em instalações sanitárias. São mais de 5 litros, podendo chegar até 20 litros de água potável por descarga, dependendo do tipo de equipamento. Por ano, um usuário do saneamento convencional consome e converte em efluente mais de 15.000 litros de água potável com a finalidade apenas de destinar 500 litros de urina e 50 litros de fezes para as ETE ou, em sua maioria, diretamente para corpos d'água (ROSEMARIN, 2004; ESREY, 2000; OTTERPOHL, 2000).

De acordo com Esrey (2000) a água que é utilizada, anualmente, para dar descarga de esgoto de 10 milhões de pessoas corresponde a  $0,15\text{Km}^3$ , que quando salva por meio da adoção de sistemas ecológicos de saneamento, pode servir de insumo para fins mais nobres, como produção de alimentos ou consumo humano.

Na esfera econômica, de acordo com Esrey (2001), o investimento global anual para implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário convencionais supera a cifra de 30 bilhões de dólares, isso, desconsiderando os custos de operação e manutenção. Por estimativas, em 2025, esse custo pode chegar até 75 bilhões de dólares anuais. Adicionalmente, para manutenção e operação de forma eficaz e efetiva, estes sistemas requerem um custo elevado de energia elétrica. De acordo com o Center for Sustainable System (2012), nos Estados Unidos, 4 (quatro) por cento da energia elétrica produzida é direcionada para suprir a demanda dos sistemas de saneamento.

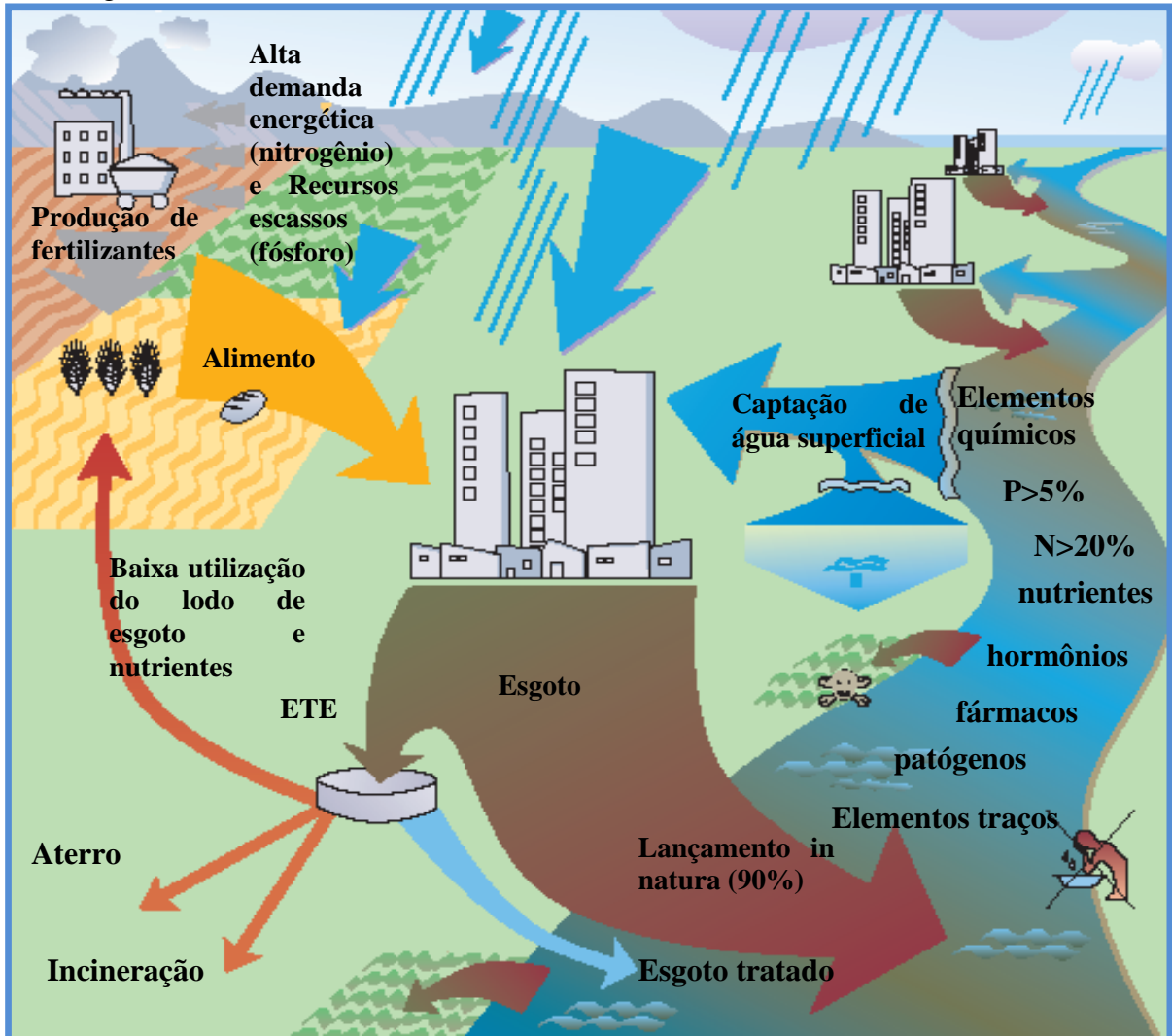
No Brasil, as despesas com energia elétrica dos sistemas de abastecimento de água e de esgoto, segundo os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, foram mais de 1,4 bilhões de reais no ano de 2008 (SNIS, 2008).

Entretanto, os sistemas de esgotamento, quando bem implantados, operados e mantidos são responsáveis pela redução de doenças de veiculação hídrica e por salvar vidas em todo mundo, principalmente, quando a implantação vem acompanhada de um suprimento adequado de água segura e da adoção de práticas de higiene na comunidade.

Em resumo ilustrativo na figura 3.1, os sistemas tradicionais de saneamento possuem as seguintes desvantagens: poluição dos corpos hídricos com nutrientes, fármacos, hormônios, matéria orgânica, patógenos, etc.; consumo excessivo de água de boa qualidade

para o transporte de excreta; elevados investimentos em energia e custos de operação e manutenção; priorização invertida, beneficiando os mais prósperos e negligenciando os menos favorecidos; desvalorização dos efluentes (nutrientes e água) e dos recursos naturais.

Figura 3.1 – Fluxo hídrico e de nutrientes do sistema de saneamento convencional.



Fonte: Adaptado de Werner *et al.* (2009)

Nesse contexto, o ecossaneamento surge como uma alternativa ao saneamento convencional, com o propósito de suprir certas deficiências do âmbito da sustentabilidade e economicidade (WERNER *et al.*, 2009; MEINZINGER *et al.*, 2009).

O saneamento focado em recursos tem como princípio básico o estímulo ao fluxo cíclico de recursos, energia e materiais a partir de um manejo e gerenciamento ecológico e economicamente sustentáveis dos sistemas de destinação dos excretas fundamentados nas demandas locais. O saneamento focado em recursos não está condicionado a esta ou aquela tecnologia, tornando-se mais abrangente, e, portanto pode ser conceituado como uma nova

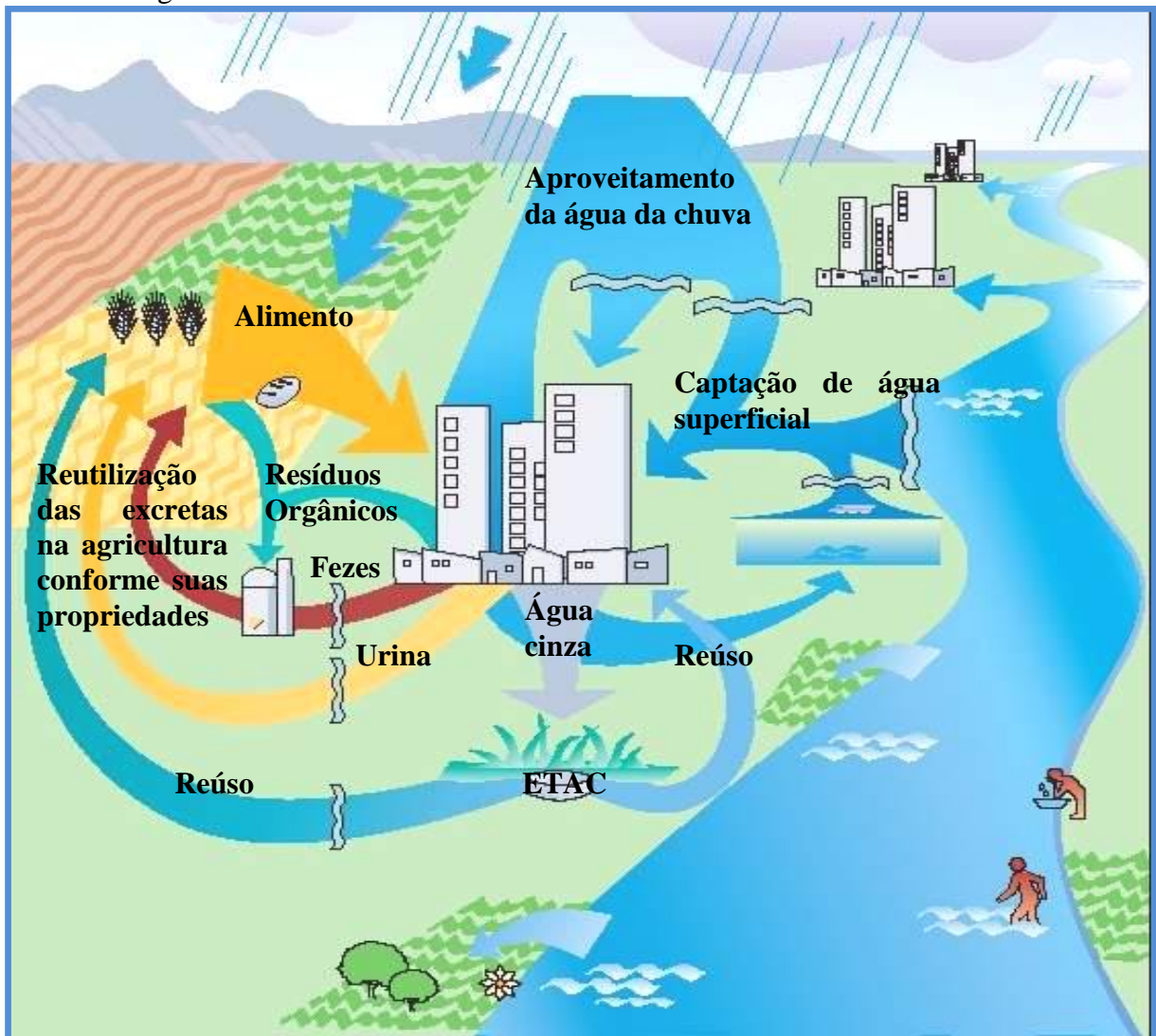
filosofia de entendimento, compreensão, percepção e manejo dos excretas humanas (WERNER, 2009; MEINZINGER *et al.*, 2009).

Para von Münch *et al.* (2006), o ecossaneamento poderá trazer benefícios ao alcance das Metas de Desenvolvimento do Milênio (combate à fome, mortalidade infantil, saneamento e melhorias habitacionais em favelas e áreas peri-urbanas). Com um baixo custo de implantação, transporte, tratamento dos excretas e uso na agricultura, o saneamento focado em recursos pode ser adotado como uma técnica sustentável para disposição dos excretas em situações de emergência.

De forma análoga à figura 3.1, a figura 3.2 apresenta as principais características do ecossaneamento, conforme Werner *et al.* (2009); Jönsson (2004); Esrey (2000): promoção do reúso seguro de nutrientes, matéria orgânica, água e energia; redução de contaminação dos corpos hídricos com patógenos, proteção e conservação dos recursos naturais (consumo reduzido de água, redução ou substituição dos fertilizantes químicos, redução da poluição das águas); contribuição à preservação da fertilidade dos solos, valorização do excreta humana e utilização na produção de alimentos; geração de emprego e renda; colaboração para a equidade de gêneros através da oportunidade no trabalho agrícola e aumento da segurança alimentar.



Figura 3.2 – Fluxo hídrico e de nutrientes do sistema de ecossaneamento.



Fonte: Adaptado de Werner *et al.* (2009)

A novidade do ecossaneamento é a percepção de que os excretas possuem características distintas, patógenos, nutrientes e benefícios ao solo e às plantas (ESREY, 2001) devendo, portanto, haver a separação, o tratamento e a reutilização de forma apropriada (HEINONEN-TANSKI; WIJK-SIBESMA; 2005). Do total de nutrientes, 80% do nitrogênio e 2/3 de fósforo e do potássio (JÖNSSON; 2004) excretado pelo homem estão presentes na urina. Todavia, a maioria do carbono, 70%, e a totalidade dos patógenos encontram-se nas fezes ESREY (2001).

Conforme Vinnerås; Jönsson (2002), se a urina e as fezes fossem coletadas de forma separada, 91, 83 e 59% de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, poderiam ser recuperados e reutilizados como um recurso e não como poluentes ao meio ambiente. Todo dia, uma pessoa excreta na ordem de 30 g de carbono (90 g de matéria orgânica), 10-12 g de nitrogênio, 2,0g de fósforo e 3,0g de potássio (STRAUSS, 2000).

Se a urina estiver misturada às fezes, como ocorre nos sistemas convencionais, fica mais difícil lidar com o excreta de modo seguro. São necessários mais tempo, compostagem termofílica e talvez produtos químicos como o cloro para matar as bactérias.

Para Esrey *et al.* (2001), o risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica pode ser significativamente reduzido simplesmente mantendo a magnitude do problema o quanto menor possível, através da separação e tratamento dos excretas e evitando a mistura das fezes com urina ou água.

Na concepção de Steinfeld; Del Porto (2007), o saneamento focado em recursos reduz ou chega até a eliminar o uso de água nobre (potável) para diluição e transporte de excreta, por meio da implantação de sanitários separadores. Segundo estes autores, muitos consideram o ecossaneamento como uma alternativa a ser aplicada apenas aos países em desenvolvimento ou em edificações dispersas com carência extrema de água. Contudo, as evidências apontam para outra realidade, como as experiências bem sucedidas implantadas no prédio da “University of British Columbia”, em prédios públicos de Massachusetts, em residências na Suécia, dentre outros exemplos que corroboram a viabilidade de sanitários ecológicos em prédios de classe alta e em países com água em abundância. Além de salvar a água para outros usos mais nobres, estes sistemas mantêm as águas negras (fezes) separadas de outras águas residuárias, podendo ser tratadas aerobiamente. Para Langergraber; Muellegger (2005), o ecossaneamento não é apenas uma solução para pessoas pobres, mas sim soluções consideradas apropriadas conforme as peculiaridades locais.

Na busca por uma tecnologia sustentável e aplicada aos novos conceitos de saneamento, a Fundação Melinda & Bill Gates lançou um programa de financiamento visando apoiar modelos de sanitários que possam ser utilizados pelo governo e setores privados para ampliar a qualidade do serviço para todos os residentes, e não apenas nos bairros mais privilegiados<sup>1</sup>.

Sob esse prisma, o saneamento ambiental, seja qual for a tecnologia adotada, deve proteger a saúde pública e o meio ambiente. Contudo, hoje, o mundo anseia e espera muito mais.

#### **1.4. Caracterização da urina**

---

<sup>1</sup> Fonte: <http://www.gatesfoundation.org/What-We-Do/Global-Development/Water-Sanitation-and-Hygiene>

Urina é um líquido secretado nos rins a partir de um processo de filtração do sangue. Esta solução aquosa é composta de várias substâncias orgânicas e inorgânicas, e sua composição é bastante variável de pessoa para pessoa, de região para região, do tipo de hábito alimentar, do metabolismo durante o dia e noite, da idade e do gênero (TETTENBORN *et al.*, 2007; KARAK; BHATTACHARYYA, 2011; JÖNSSON *et al.*, 1997; JÖNSSON; VINNERÅS, 2004).

#### 1.4.1. Produção per capita

A quantidade de urina varia de acordo com o volume de líquido que é ingerido e as perdas por transpiração que dependem das condições de umidade e temperatura do local. Em média, a produção de urina diária por pessoa adulta é na ordem de 1,5 litros (WOLGAST, 1993; RAUCH *et al.*, 2003; FITTSCHEN; HAHN, 1998). Diversos são os trabalhos internacionais e nacionais sobre a caracterização quantitativa. No Brasil, Rebouças *et al.* (2007), por meio do estudo de diferentes tipos de águas residuárias e da coleta e amostragem de urina tanto para homens como para mulheres na idade entre 16 a 56 anos, identificaram que a produção diária era bastante semelhante para os dois sexos, obtendo, em média, 1,35 litros por pessoa. Zancheta *et al.* (2007), a partir da caracterização de gênero e idade, alcançaram os seguintes volumes per capita: 1,18; 1,47; 1,50 e 0,70 L.dia<sup>-1</sup>, respectivamente, para mulheres, homens, idosos e crianças. Rios *et al.* (2007), em estudo análogo, obtiveram os seguintes resultados: 1,38; 1,42; 1,83 e 0,55 L/pessoa.dia. Em Campina Grande na Paraíba, Sousa *et al.* (2008) identificaram que o volume médio per capita de urina foi de 1,19L.dia<sup>-1</sup>, variando de 0,7 a 1,73 L.dia<sup>-1</sup>

#### 1.4.2. Composição físico-química

A urina humana, solução complexa aquosa, contém, em sua composição, sais e nutrientes, como o cloreto de sódio (NaCl), ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], potássio (K) e fósforo (P), dentre outros elementos, como cálcio (Ca), sulfatos (SO<sub>4</sub>), boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), etc. (LIND *et al.*, 2001; VINNERÅS, 2001).

É pertinente mencionar que sua composição está relacionada com a saúde e o estilo de vida do indivíduo, bem como do sistema de coleta e do manejo. Como exemplo, se a urina a ser utilizada como biofertilizante for coletada em hospitais ou de pessoas idosas é bastante provável a presença excessiva de fármacos em comparação com a urina de pessoas

jovens ou saudáveis. Nos casos em que é coletada e encaminhada utilizando tubos de cobre, presume-se ainda uma alta concentração de cobre em sua composição (von MÜNCH; WINKER, 2009).

Quanto aos parâmetros físicos, o pH varia conforme o período de estocagem. A urina fresca apresenta um pH ácido, entre 5,6 a 6,8 (LIND *et al.*, 2000; HELLSTRÖM *et al.*, 1999; CIBA-GEIGY, 1977 *apud* MAURER *et al.*, 2006). Após alguns dias, no decorrer do período de armazenamento, devido a uma série de reações que serão detalhadas mais adiante, o pH tende a elevar, estabilizando-se em torno de 9 a 10. A condutividade situa-se entre 14,8 e 25,4mS.cm<sup>-1</sup> (JÖNSSON *et al.*, 2000; RIOS *et al.*, 2007) e sua densidade está próxima da água, de 1003 a 1035 g.L<sup>-1</sup> (KIRCHMANN; PETTERSSON; 1995).

Em termos de nutrientes, a urina dispõe do maior percentual em comparação aos outros tipos de águas residuárias (VINNERÅS, 2001). Conforme expresso na figura 3.3, do total de urina excretada por pessoa, ou seja, 450 a 550 kg/ano, (JÖNSSON *et al.*, 1999; VINNERÅS, 2001; DRANGERT, 1998), a fração de nitrogênio varia entre 4 e 5 kg/pessoa.ano, de fósforo entre 0,3 e 0,75 kg/pessoa.ano, de potássio entre 1 e 1,8 kg/pessoa.ano e aproximadamente 30 kg/pessoa.ano de DBO (von MÜNCH; WINKER, 2009; LANGE; OTTERPOHL, 2000 *apud* LANGERGRABER; MUELLEGGER, 2005).

Na urina fresca, 75 a 90% do nitrogênio encontra-se sob a forma de ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] e o restante é encontrado em outras formas de nitrogênio orgânico, além do nitrogênio inorgânico na forma de amônia, nitrito e nitrato (HELLSTRÖM *et al.*, 1999). À medida que a ureia é hidrolisada há aumento da concentração de nitrogênio amoniacal e da elevação do pH da urina.

Diariamente, a excreção de ureia em adultos varia entre 11,8 e 23,8 g. (FITTSCHEN; HAHN, 1998). A concentração de fósforo total é na ordem de 800 a 2000 mg/L, enquanto o potássio de 2740 mg/L (von MÜNCH; WINKER, 2009). O fósforo está disponível na forma de superfosfato (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ou HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) com concentração de 3,23 a 3,39 mEq.L<sup>-1</sup> e o potássio como componente iônico (K<sup>+</sup>), variando entre 0,8 e 3,3 g.L<sup>-1</sup> (LIND *et al.*, 2000; KIRCHMANN; PETTERSSON (1995); von MÜNCH; WINKER, 2009; MEINZINGER; OLDENBRUG, 2008).

Jönsson *et al.* (2004) apresentaram as concentrações estimadas de nutrientes na urina para alguns países: China, 3,5kgN/pessoa/ano, 0,4kgP/pessoa/ano e 1,3kgK/pessoa/ano; Haiti, 1,9kgN/pessoa/ano, 0,2kgP/pessoa/ano e 0,9kgK/pessoa/ano e Índia, 2,3kgN/pessoa/ano, 0,3kgP/pessoa/ano e 1,1 kgK/pessoa/ano.

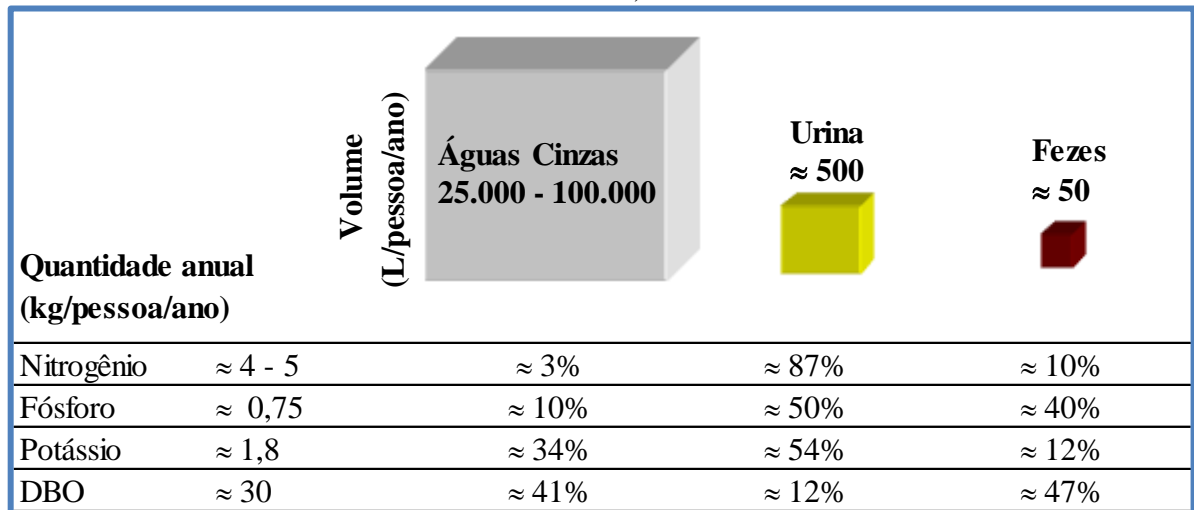
Quanto aos parâmetros relativos à presença de matéria orgânica, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), segundo Kirchmann; Pettersson (1995), é de 180mg/L, ou 5g/pessoa.dia, valor este bem abaixo do encontrado no excreta fecal, situado na ordem de 20g/pessoa.dia, representando, respectivamente, 10% e 30% de toda a matéria orgânica presente nas águas residuárias (MEINZINGER; OLDENBURG, 2008).

A urina possui uma concentração reduzida de metais pesados. Sua presença em alguns casos se dá por meio da ingestão de alimentos duvidosos, contaminados por metais pesados, como peixes de águas que receberam despejos industriais (von MÜNCH; WINKER, 2009; VINNERÅS; JÖNSSON, 2002). Adicionalmente, 90% dos metais pesados consumidos pelo homem, sejam por meio da inalação ou ingestão, são excretados pelas fezes. Os metais pesados, que, por ventura, possam estar presentes nos efluentes domésticos originam-se das águas cinza, devido principalmente aos resíduos dos talheres e corantes (KEHOE *et al.*, 1940; MORIYAMA *et al.*, 1989; VAHTER *et al.*, 1991; KIM; FERGUSON, 1993; COMBER; GUNN, 1996; KOCH; ROTARD, 2000 *apud* VINNERÅS; JÖNSSON, 2002).

O modelo de gerenciamento das águas em escala residencial na concepção do ecossaneamento apresenta basicamente três tipos de águas: águas amarelas, cinzas e negras (ESREY, 2001; OTTERPOHL, 2001). As águas amarelas (urina), provenientes de dispositivos separadores de excretas, além de possuírem a maior fração de nutrientes entre os efluentes, possuem a menor fração de metais pesados (VINNERÅS, 2001). Ao mesmo tempo, constituem menos de 1% do volume do esgoto convencional (JÖNSSON *et al.*, 1997).

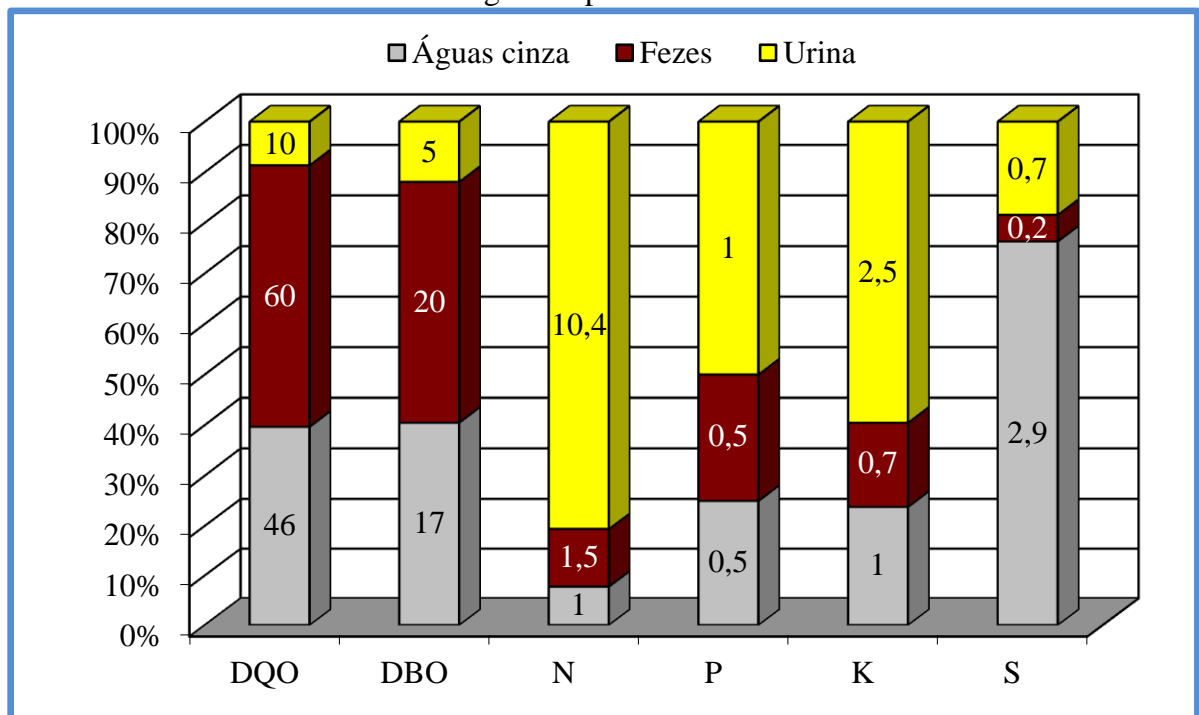
As águas cinza contribuem com o maior volume no esgoto. Uma pessoa produz de 25.000 a 100.000 litros de águas cinza por ano (LENS *et al.*, 2001; LANGE; OTTERPOHL, 2000 *apud* LANGERGRABER; MUELLEGGGER, 2005). Atualmente, as águas cinza estão sendo classificados em clara e escura. De acordo com Hesperhol (2008), a água cinza clara além da segregação do vaso sanitário, não contém a água da pia de cozinha. Essa separação é relativa à grande quantidade de material flutuante (óleos e gorduras), conferindo maior carga orgânica. A água cinza escura apresenta a separação apenas do efluente do vaso sanitário, coletando a água proveniente da pia de cozinha. As figuras 3.3 e 3.4 apresentam, respectivamente, os percentuais e as quantidades, expressas em gramas/pessoa/dia, de matéria orgânica e nutrientes, presentes nas principais formas de resíduos gerados em uma residência.

Figura 3.3 – Características das águas residuárias domésticas sem diluição dos excretas (urina e fezes).



Fonte: Otterpohl *et al.* (2003)

Figura 3.4– Características das águas residuárias domésticas. Parâmetros expressos em gramas/pessoa.dia.



Fonte: Meininger; Oldenburg (2008).

Segundo Vinnerås *et al.* (2004), a urina é um potencial recurso a ser utilizado como fertilizante natural por conter concentrações significativas de nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), complementando ou até mesmo substituindo os fertilizantes comerciais. Esses nutrientes ainda possuem a propriedade de estarem presentes na forma de fácil assimilação por plantas quando dispostos no solo. Por isso, conforme

Gonçalves (2006), quando se compara o potencial de biodisponibilidade de nutrientes no lodo de esgoto sanitário gerado em ETE com os nutrientes presentes na urina, verifica-se a importância da coleta segregada visando sua utilização na agricultura.

#### 1.4.3. Patógenos na urina

A urina humana na bexiga de indivíduos saudáveis é estéril (JOHANSSON *et al.*, 2001; von MÜNCH; WINKER, 2009; SCHÖNNING; STENSTRÖM, 2004). Porém, quando transportada para fora do corpo humano, apresenta diferentes tipos de bactérias dérmicas (BEAL *et al.*, 2007).

Segundo Höglund (2001), a maioria dos patógenos está presente nas fezes, enquanto uma pequena quantidade é excretada pela urina. Portanto, os principais riscos na utilização do excreta estão relacionados com a fração fecal, e não com a fração da urina. Dentre os patógenos mais comumente encontrados, estão: *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, *Mycobacterium tuberculosis*, polyomavirus, *Leptospira interrogans*, adenoviruses, *Shistosoma haematobium* (BEAL *et al.*, 2007; FEACHEM *et al.*, 1983). A tabela 3.1 apresenta os patógenos que podem ser excretados pela urina e sua importância como rota de transmissão de doenças.

Tabela 3.1 – Possíveis patógenos excretados pela urina e a importância como meio de transmissão.

Patógenos	Urina como meio de transmissão	Importância
<i>Leptospira interrogans</i>	Usualmente através da urina animal	Provavelmente baixo
<i>Salmonella typhi</i> e <i>Salmonella paratyphi</i>	Provavelmente incomum, excretada na urina em infecção sistêmica	Baixo comparado com outros meios de transmissão
<i>Schistosoma haematobium</i> (ovos excretados)	Não direta, mas indiretamente. A larva infecta o homem através da água doce.	É necessário considerar em áreas endêmicas onde água doce é disponível
<i>Mycobacteria</i>	Incomum, normalmente transportado pelo ar	Baixo
Vírus: citomegalovírus (CMV), JCV, BKV, adeno, hepatite e outros	Normalmente não reconhecido, com exceção de casos isolados de hepatite A e sugerido para a hepatite B. Necessita de mais informações	Provavelmente baixo
<i>Microsporidia</i>	Sugerido, mas não reconhecido	-
Causadores de doenças venéreas	Não, não sobrevivem durante períodos significativos fora do corpo	
Infecção do trato urinário	Não, não há uma transmissão ambiental direta	Baixo

Fonte: Schönning; Stenström (2004)

Considerando a separação dos excretas, onde existe a coleta segregada das fezes, o tratamento e o manejo da urina e das águas cinza tornam-se significativamente mais fáceis e simples (WINKER *et al.*, 2009). Contudo, de acordo com Schönning *et al.* (2002) e Beal *et al.* (2007), ao se fazer uso de sanitários separadores existe a possibilidade de ocorrer a contaminação fecal cruzada, devendo-se, portanto, considerar o risco de contaminação da urina por bactérias, vírus e parasitas. Embora alguns patógenos possam ser excretados via trato urinário, a contaminação fecal cruzada que pode ocorrer pela disposição equivocada das fezes no sanitário separador (SCHÖNNING *et al.*, 2002), diz respeito aos riscos mais significantes para a saúde (HÖGLUND *et al.*, 2002).

No entanto, ainda, conforme Beal *et al.* (2007), os micro-organismos patogênicos transportados via urina não são considerados um risco à saúde pública uma vez que as principais pesquisas no assunto apontam uma eficiente inativação destes em condições adequadas de armazenamento com um tempo superior a 6 meses. Apesar da quantidade de diferentes micro-organismos entéricos, a urina pode ser facilmente desinfetada por meio de um simples processo de estocagem (SCHÖNNING, 2002).



Vinnerås *et al.* (2008) recomendam um período de estocagem de 6 meses a 20°C ou mais, a fim de tornar a urina segura sanitariamente com relação a patógenos e vírus viáveis.

As condições de armazenamento (temperatura e tempo) para alcançar um adequado tratamento dependem do tipo de cultura a ser utilizada, conforme tabela 3.2. Os principais parâmetros que influenciam na inativação dos micro-organismos, segundo Höglund *et al.* (2002), são temperatura, pH e amônia. A temperatura depende da estação do ano e das condições climatológicas da região. O pH da urina fresca é aproximadamente 6,0, contudo devido a reações de amonificação, em que a ureia é convertida a amônia, o pH cresce para valores acima de 9,0, proporcionando um efeito bactericida e anti-protozoário.

Tabela 3.2 – Condições de armazenamento para tratamento da urina segundo o tipo de cultura a ser utilizada.

Temperatura de armazenamento	Tempo de armazenamento	Prováveis patógenos na urina após o armazenamento	Culturas recomendadas
4°C	≥ 1 mês	Vírus, protozoários	Culturas alimentícias e culturas de forragem que serão processadas
4°C	≥ 6 meses	Vírus, protozoários	Culturas alimentícias que serão processadas e culturas de forragem
20°C	≥ 1 mês	Vírus	Culturas alimentícias que serão processadas e culturas de forragem
20°C	≥ 6 meses	Provavelmente nenhum	Todos os tipos de culturas

Fonte: WHO (2006)

Höglund (2001), em sua pesquisa de doutorado, concluiu que o uso de urina humana na agricultura em áreas tropicais não constitui um problema sanitário, com exceção do micro-organismo *Shistosoma haematobiu*, que pode proporcionar um baixo risco devido ao seu prolongado ciclo de vida.

### **1.5. Alternativas de tratamento e recuperação dos nutrientes contidos na urina**

Sanitários separadores de excretas são as tecnologias mais indicadas para o maior aproveitamento, recuperação e reciclagem dos nutrientes da urina humana, livre de contaminantes perigosos, como os metais pesados. Contudo, atualmente, o uso direto deste

excreta como fertilizante na agricultura é considerado como problemático e controverso. Higienização, armazenamento, transporte e aplicação em campo da urina são os principais aspectos abordados nas pesquisas sobre ecossaneamento (LIND *et al.*, 2000).

A separação de excretas humanas é realizada por meio de sanitários equipados com duas bacias, uma na frente para a coleta da urina e a outra, na parte de trás, para o material fecal. Assim, a urina é, supostamente, coletada de forma totalmente separada, e transportada por sistemas de tubulações, sendo direcionada aos tanques de armazenamento (HELLSTRÖM *et al.*, 1999)

Em alguns países europeus e africanos já existem casos pontuais da prática do ecossaneamento em condomínios, vilas e casas com o uso de sanitários separadores de excretas. No entanto, de acordo com Lind *et al.* (2000) são comuns os problemas com armazenamento, devido a questões de higiene, manejo, e transporte. Elevados volumes de urina são necessários para fertilização, inviabilizando tecnicamente e economicamente o seu transporte desde a sua origem (centros urbanos) para o seu destino final, onde será reutilizada na agricultura (zonas rurais).

Para Maurer *et al.* (2006) a separação dos excretas na fonte apresenta diversas vantagens quanto à gestão eficiente das águas residuárias (MEDILANSKI *et al.*, 2006), contudo estas são acompanhadas de diversos questionamentos e desafios. Ainda, de acordo com Maurer *et al.* (2006), a urina é uma solução bastante instável, necessitando, portanto, de um tratamento que vise eliminar os micropoluentes orgânicos, patógenos, fármacos e hormônios artificiais e naturais.

De forma análoga, Schönning; Stenström (2004) afirmam que a prevenção, separação na fonte, tratamento adequado, conscientização dos riscos e manejo apropriado asseguram a redução dos riscos à saúde pública, enfatizando que o tratamento dos excretas é a principal barreira para a prevenção da disseminação de patógenos.

Além do tratamento dos micropoluentes orgânicos e patógenos, a concentração de nutrientes na urina é baixa quando comparada aos fertilizantes químicos. O volume de urina a ser armazenado e transportado é relativamente alto para atender às exigências nutricionais para o crescimento adequado das plantas, o que, conseqüentemente, resulta em custos mais elevados. Portanto, é essencial que no processo de tratamento da urina esteja contemplada uma etapa que vise à concentração dos nutrientes. (MAURER *et al.*, 2006). Benetto *et al.* (2009) acreditam que o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias com vistas à redução do volume da urina e à eliminação de fármacos perigosos e outras substâncias

orgânicas reduziria problemas relacionados às mudanças climáticas e aos impactos ambientais causados pela toxicidade de tais substâncias.

Diversas técnicas têm sido desenvolvidas e aprimoradas com o intuito de tratar a urina. A tabela 3.3 apresenta um resumo dos principais métodos estudados. De acordo com Maurer *et al.* (2006), os sete principais propósitos de uma unidade de tratamento de urina são: redução de volume; recuperação do fósforo; recuperação do nitrogênio; estabilização; higienização; remoção de micropoluentes e remoção biológica de nutrientes.

O armazenamento é a técnica mais utilizada e difundida para o tratamento da urina, por ser extremamente fácil e não necessitar de grandes insumos, apesar do investimento inicial na construção de tanques. Höglund; Hellström (1999); Höglund *et al.* (2000); Höglund (2001); Höglund *et al.* (2002); Hellström *et al.* (1999); Jönsson *et al.* (2000); Udert *et al.* (2003); Udert *et al.* (2006); Vinnerås *et al.* (2008); Zancheta (2007) e Botto *et al.* (2012) são as principais pesquisas à respeito da estocagem como método de tratamento, em que apresentam as vantagens e desvantagens desta técnica, em função do tipo de micro-organismo e as condições de temperatura.

Além de tratar, a evaporação é considerada a tecnologia mais promissora para remover a massa líquida da urina. Contudo, dois desafios estão presentes neste processo: (i) a perda da amônia por volatilização e (ii) o consumo de energia. A volatilização da amônia pode ser evitada por meio da acidificação e o consumo de energia pode ser minimizado por meio da recuperação energética (até 85%), como no caso de compressão do vapor seguido de destilação (MAURER *et al.*, 2006).

Entre as alternativas, avaliadas por Maurer *et al.* (2006), para tratamento da urina, a evaporação é considerada como a mais adequada para as regiões próximas às zonas agrícolas que possuem o fornecimento de energia insuficientes ou não confiáveis (PRONK; KONÉ, 2009).

Em condições naturais de exposição ao sol e com a aplicação de ácido sulfúrico para minimizar a perda de amônia por volatilização da urina, Zancheta (2007) conseguiu obter 50g de resíduo com concentrações balanceadas de nitrogênio, fósforo e potássio para cada litro de urina evaporada. A taxa média de evaporação foi de 2,8L/m<sup>2</sup>.d sob as condições de insolação do município de Vitória – ES. Este método possibilitou reduzir o volume da urina humana em aproximadamente 95%.

Barreto (2009), utilizando sistemas de destilação natural, ou seja, modelos de evaporadores, com uma, duas, três e quatro coberturas de águas, verificou que o evaporador com inclinação de 45° e com quatro águas de cobertura foi o de maior eficiência, com uma

taxa de evaporação igual a  $1,3 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ . Porém, vale salientar, que a média de temperatura no período dos ensaios nos evaporadores foi de  $38,1^\circ\text{C}$  e que a área disponível para contato com a radiação era muito pequena ( $0,1660 \text{ m}^2$ ).

Já, a estabilização da urina consiste em evitar a degradação da matéria orgânica, perdas de nitrogênio por meio da volatilização da amônia, e a precipitação de compostos de baixa solubilidade, como o fósforo. Estes processos são desencadeados por atividades microbianas, portanto para estabilizar a urina é necessário evitar o crescimento microbiano (MAURER *et al.*, 2006). Os métodos mais utilizados para a estabilização são: a acidificação e os processos biológicos.

Por outro lado, o método de concentração por congelamento consiste em um processo lento de congelamento e/ou liquefação, em que a concentração da urina ocorre pela capacidade da água em formar “cristais puros” (LIND *et al.*, 2001). Estes autores provaram que congelando a urina a uma temperatura de  $-14^\circ\text{C}$ , aproximadamente, 80% dos nutrientes podem ser concentrados em 25% do volume original.

A osmose reversa, técnica conhecida no tratamento de água, também já foi pesquisada com o intuito de recuperar os nutrientes contidos na urina. De acordo com Asmus (2009), este é um processo que demanda energia e, no geral, não recupera eficientemente o nitrogênio, que acaba volatilizado. Maurer *et al.* (2006) afirmam que este sistema mantém no concentrado 15% do nitrogênio e 98% do fósforo presente na urina.

Existem outras técnicas desenvolvidas para o tratamento da urina, conforme tabela 3.3. Contudo nenhuma delas é capaz de atender os sete propósitos citados, anteriormente. Maurer *et al.* (2006) afirmam que com exceção da evaporação e do armazenamento, nenhum dos processos descritos foram aplicados em escala real para o tratamento da urina, além das pesquisas laboratoriais. Contudo, desde 2009, já se tem conhecimento da aplicação da estruvita para recuperação dos nutrientes da urina em comunidade no Nepal (ETTER, 2009).

Tabela 3.3 - Resumo das principais técnicas de tratamento da urina e suas características.

Tipo de tratamento	Higienização	Redução do volume	Estabilização	Recuperação do P	Recuperação do N	Remoção de MP	Separação de nutrientes e MP	Remoção de nutrientes	Solidificação	Necessidade de pre/pos-tratamento
<b>1. Higienização</b>										
Armazenamento	+	o	o	o	o	o	o	o	+	-
<b>2. Redução do volume</b>										
Evaporação	+	++	+	++	++	o	o	o	++	+
Congelamento/ Descongelação	?	+	o	++	++	o	o	o	o	o
Osiose reversa	?	+	o	++	++	o	o	o	o	+
<b>3. Estabilização</b>										
Acidificação	+	o	++	o	o	?	o	o	o	o
Microfiltração	+	o	++	o	o	o	o	o	o	o
Nitrificação	+	o	++	o	o	?	o	o	+	o
<b>4. Recuperação de fósforo</b>										
Estruvita	o	++	+	++	+	o	++	o	++	o
<b>5. Recuperação de nitrogênio</b>										
Troca-iônica	o	+	o	o	++	o	+	o	++	o
Estruvita	o	++	+	++	++	o	++	o	++	o
Remoção de NH <sub>3</sub>	o	+	o	o	++	o	++	o	o	o
Isobutylaldehyde- diurea	o	+	o	o	++	o	+	o	+	o
<b>6. Remoção de nutrientes</b>										
Anammox	+	o	++	o	o	?	+	++	+	+
<b>7. Remoção de micropoluentes</b>										
Eletrodialise	++	+	+	+	+	o	+	o	o	o
Nanofiltração	++	o	+	o	o	o	++	o	o	+
Ozonização	+	o	+	o	o	++	o	o	o	o

Fonte: Maurer et. al (2006)/ As linhas listam os processos tecnológicos e as colunas os objetivos a serem alcançados. Legenda: o: sem efeito; +: efeito positivo; ++ efeito muito positivo; -: não aplicável.

Visando à recuperação e sua aplicação na agricultura, os métodos mais eficazes para a recuperação dos nutrientes são: evaporação, eletrodialise, osmose reversa e precipitação da estruvita, com o aproveitamento de mais de 90% do nitrogênio e/ou fósforo. Já os métodos troca iônica com zeólitos e precipitação de *Isobutylaldehyde-diurea* alcançam entre 60 e 80% de recuperação (ETTER *et al.*, 2011; MAURER *et al.*, 2006; WILSENACH *et al.*, 2007; RONTELTAP *et al.*, 2007; GANROT *et al.*, 2007)

Os métodos de tratamento descritos acima demandam grandes quantidades de produtos químicos, energia e operação intensa. Todos foram, primeiramente, desenvolvidos para aumentar o grau de eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de tratamento de efluentes existentes nos países desenvolvidos (SHANNON *et al.*, 2008). Pronk; Koné (2009) afirmam que a implantação destas complexas tecnologias em países desenvolvidos, que são provavelmente, os mais afetados pela crescente demanda e custos de fertilizantes disponíveis no mercado, é, praticamente, impossível.

Recentemente, outras técnicas, definidas pelos seus autores, como mais econômicas, sustentáveis e menos dispendiosas do consumo energético, estão sendo pesquisadas. Por meio do uso de células combustíveis microbianas verificaram que é possível recuperar energia e a amônia presentes nas excretas (KUNTKE *et al.*, 2012; FERREIRA, 2010). Na China, Weng *et al.* (2012) estudaram o processo de adsorção e recuperação de sólidos dissolvidos da urina, particularmente, o fósforo, utilizando talos secos de aguapé e energia solar. Asmus (2009) combinou o a evaporação natural e a utilização da cinza de lenha como estabilizante, impedindo a ocorrência da hidrólise da ureia, a fim de concentrar o nitrogênio.

Devido à composição da urina atender, em média, aos requisitos nutricionais para o crescimento das plantas (HEINONEN-TANSKI; WIJK-SIBESMA, 2005), o uso deste excreta como fertilizante na agricultura é considerada a aplicação mais óbvia e viável, porém Maurer *et al.* (2006) afirmam que o uso industrial ou simplesmente a remoção de nutrientes são outras possíveis opções a serem consideradas.

Lind *et al.* (2000) acreditam que muitos dos problemas que transcorrem da separação de excretas podem ser solucionados a partir da transformação dos nutrientes presentes em sólidos minerais. Os processos de manejo e estocagem podem ser substancialmente aperfeiçoados; o volume, expressivamente, reduzido; a perda do nitrogênio à atmosfera eliminada; o alto grau de higienização mantido e a aplicação destes no solo será bem mais flexível com relação ao tempo e dosagem.

A presente etapa da pesquisa teve como objetivo avaliar a aceitabilidade de implantação de sanitários ecológicos em comunidade peri-urbana no Ceará e caracterizar a urina humana desta população, segundo sexo e faixa etária, em função dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, para estudo do seu emprego como fertilizante natural na agricultura familiar. Adicionalmente, avaliou-se o efeito do tempo de estocagem como técnica de tratamento e, ainda, foi desenvolvido um protótipo de concentrador solar parabólico para aumentar a eficiência da evaporação da água contida na urina para acelerar a concentração dos nutrientes contidos na mesma.

A importância desta etapa da pesquisa foi caracterizar a urina de uma população de baixa renda no Ceará, tendo como premissa básica diferenças de sua composição, devido, principalmente, às mudanças de hábitos alimentares, sejam estes motivados por questões culturais ou econômicas. Além de verificar e analisar essas possíveis diferenças, a determinação das concentrações dos nutrientes, por meio da caracterização foi fundamental para o cálculo dos volumes de urina a serem aplicados no plantio das culturas energética e alimentícia.

Por fim, o desenvolvimento e os testes preliminares de um protótipo de concentrador solar construído com materiais de fácil acessibilidade no estado, traz uma nova abordagem às tecnologias de concentração de urina aplicadas aos países em desenvolvimento, baseadas nos princípios da sustentabilidade e eficiência energética.

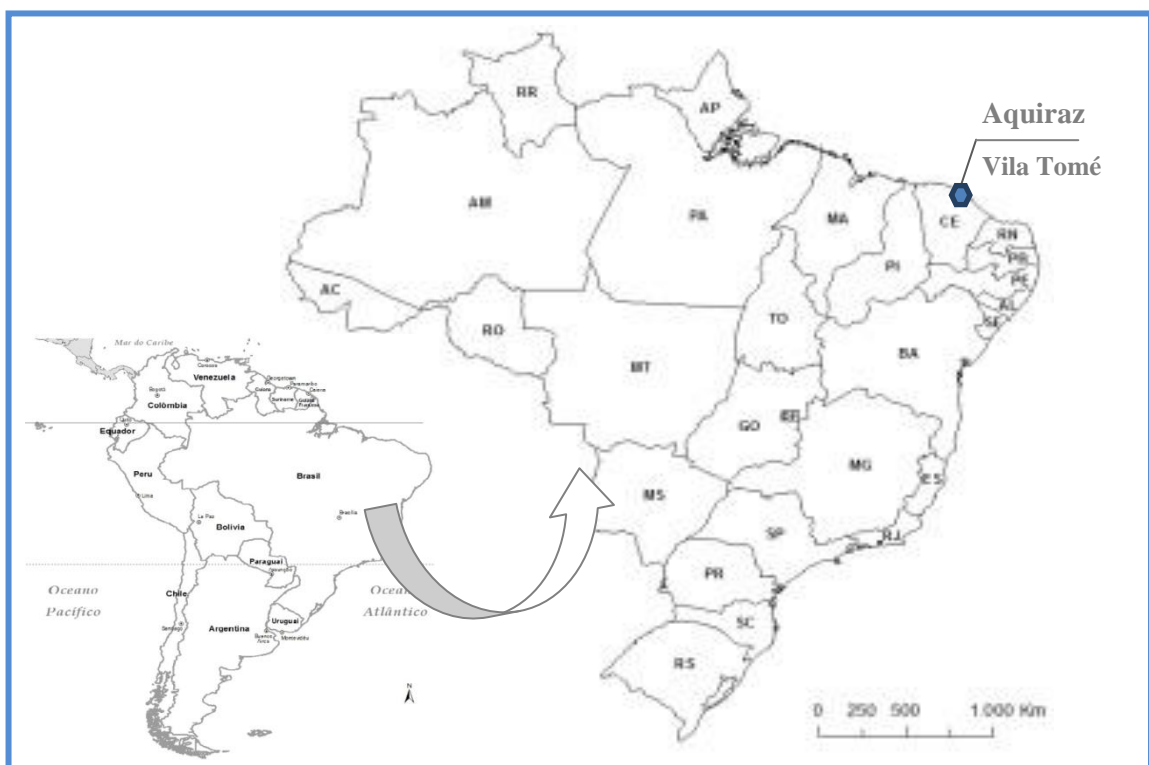
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização da área de estudo

A pesquisa de caracterização da urina e aceitabilidade do ecossaneamento foi desenvolvido na comunidade Vila Tomé, situada no nordeste do Brasil, estado do Ceará, município de Aquiraz, distante aproximadamente 30Km da capital do estado, Fortaleza (figura 3.5).

Já o trabalho com o concentrador solar foi realizado em área anexa à estação agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias no Campus da Universidade Federal do Ceará (coordenadas geográficas: 3° 44' S e 38° 34' W).

Figura 3.5 – Mapa da localização do município de Aquiraz/ comunidade Vila Tomé no contexto latino-americano e nacional



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

### 2.2. Aceitabilidade do ecossaneamento em comunidade peri-urbana



A pesquisa de aceitabilidade do ecossaneamento foi realizada na comunidade Vila Tomé (figura 3.6) situada no município de Aquiraz, constituindo-se, basicamente, de três etapas distintas:

1. Pré-diagnóstico socioeconômico e ambiental com aplicação de questionários de reconhecimento da comunidade e caracterização da qualidade da água.
2. Oficinas participativas de educação sanitária.
3. Aplicação de questionários para avaliar a aceitação de sanitários ecológicos.

Figura 3.6 – Imagem de satélite da localidade Vila Tomé.



Fonte: Google Earth (2009).

Vila Tomé é uma pequena comunidade com 140 famílias que vivem do comércio local, agricultura de subsistência ou empregados em fábricas de produção de tijolos cerâmicos ou de castanha de caju. A comunidade é de difícil acesso, principalmente no período chuvoso, devido aos 5Km de pista de piçarra (barro com pedrisco) que liga a CE-041 ao centro da comunidade. A renda média das famílias da comunidade está situada entre 1 e 2 salários mínimos. Existe apenas 1 (uma) escola pública municipal que ensina até a 5ª série e não existe posto de saúde local, sendo o mais perto situado a 6Km, em uma comunidade vizinha.

### *2.2.1. Pré-diagnóstico socioeconômico e ambiental*

O pré-diagnóstico foi conduzido por meio da coleta e análise da qualidade da água para consumo humano, da aplicação de questionários de reconhecimento e registro fotográfico.

### *2.2.2. Análise da qualidade da água de chuva*

Durante os meses de fevereiro de 2009 a abril 2010, foram coletadas amostras das águas de chuva armazenadas em três cisternas de placa, bem como amostras de água do chafariz público que abastece toda a comunidade. Os responsáveis pelas residências autorizaram antecipadamente realizar as coletas de forma sistemática em suas cisternas. Nos meses de abril, maio, junho e agosto de 2009, as coletas não foram realizadas devido ao período chuvoso que acarretou interdição do acesso à comunidade.

As amostras foram coletadas a 30 cm da lâmina d'água, por meio de cordas e baldes, os mesmos utilizados pelas famílias. O objetivo de utilizar as mesmas técnicas da comunidade era de caracterizar, sem alterar ou desvirtuar a real qualidade da água consumida pelas famílias.

Em alguns casos, as famílias não se encontravam em casa para autorizar a entrada da equipe técnica e a coleta das amostras, como nos eventos apresentados na tabela 3.4, "NC", não coletado.

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos e microbiológicos: pH, cor, turbidez, odor, condutividade, nitrato, nitrito, sulfato, sulfeto, alcalinidade e coliformes termotolerantes. Com exceção da determinação de nitrato, todas as análises foram concretizadas seguindo rigorosamente as metodologias de cada parâmetro especificadas no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2005). Para a análise de nitrato, foi utilizado o método de salicilato de sódio por espectrofotometria normatizado pela *Association Française de Normalisation*.

### *2.2.3. Aplicação de questionários de reconhecimento*

O questionário era composto de perguntas sobre renda, grau de instrução, condições sanitárias, saúde, higiene e saneamento. Os questionários foram aplicados de forma aleatória (sorteio da residência), perfazendo uma amostra de 40% das residências e

respondidos pelos chefes de cada família. Em caso de sua ausência, aplicavam-se as perguntas ao responsável pelo domicílio naquele momento. A figura 3.7 mostra a aplicação dos questionários em algumas residências visitadas.

Figura 3.7 – Aplicação de questionários na comunidade Vila Tomé. Etapa de pré-diagnóstico. Aquiraz - CE, 2009.



Fonte: AUTOR, 2013.

O modelo do questionário de reconhecimento consta do Apêndice A.

#### *2.2.4. Oficinas participativas de educação sanitária.*

Os trabalhos de capacitação foram efetuados a partir de oficinas participativas com a comunidade e parcerias com a escola local. Ao total, foram feitas quatro oficinas na comunidade. Foram abordados temas como a importância de inserir hábitos de higiene no cotidiano e de destinar adequadamente os excretas humanas. Foram apresentadas as vantagens e desvantagens de sanitários convencionais e ecológicos, bem como explicada a importância da separação dos excretas e a reciclagem de nutrientes. A figura 3.8 mostra uma das capacitações realizada na escola local de ensino fundamental.

Figura 3.8 – Oficina de sensibilização ocorrida na Escola Pública em Vila Tomé, Aquiraz - CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

A primeira oficina realizada teve como objetivo principal apresentar o resultado do questionário de reconhecimento e discutir seus principais aspectos quanto às condições de saneamento e saúde dos moradores.

#### *2.2.5. Aplicação de questionários para avaliar a aceitação de sanitários ecológicos*

Duas semanas após as oficinas de sensibilização, entrevistas estruturadas foram desenvolvidas na comunidade. As mesmas famílias entrevistadas no pré-diagnóstico socioeconômico (40% do universo) responderam o questionário de aceitação do ecossaneamento. O questionário, composto de 8 perguntas objetivas e subjetivas, teve o intuito de avaliar o grau de satisfação da população com as condições de saneamento e a percepção com relação aos conceitos do saneamento focado em recursos e suas aplicações.

O modelo do questionário de aceitação de sanitários ecológicos consta do Apêndice B.

### 2.2.6. Estudo Estatístico

Para analisar estatisticamente os dados de aceitação dos sanitários ecológicos, foi utilizada a ferramenta computacional *SPSS Statistics 17* da IBM. Os testes de hipóteses que melhor se ajustaram ao tipo de dado coletado foram Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) e o Teste exato de Fisher. Este último aplicado para amostras pequenas, a fim de minimizar o erro do valor do Qui-Quadrado.

### 2.3. Caracterização quanti-qualitativa da urina visando ao uso na agricultura

A caracterização da urina foi realizada por meio de uma campanha na comunidade Vila Tomé com coletas individuais. No mês de agosto do ano de 2009, foram entregues para 28 pessoas, de diferentes faixas etárias e sexo, recipientes de plástico de 4L previamente lavados com água corrente, detergente neutro biodegradável sem fósforo, ácido clorídrico a 20% e água deionizada. Os recipientes foram identificados por gênero e idade através de adesivos e cores correspondentes a cada situação, conforme mostrado na figura 3.9. Foram escolhidos recipientes de boca larga, para facilitar o manejo e o ato de urinar das mulheres, evitando a utilização de outros recipientes que viessem a contaminar a amostra.

Para aquelas pessoas e responsáveis pelas crianças que contribuíram através da doação de urina foram repassadas informações a fim de evitar variáveis ou interferências que pudessem prejudicar a caracterização quantitativa e qualitativa:

1. Sempre urinar no recipiente.
2. Urinar diretamente dentro do recipiente.
3. Não cuspir nem lançar nada no recipiente além da urina.
4. Ao terminar de urinar, sempre tampar o recipiente.
5. Manter o recipiente longe da radiação solar.
6. Ter cuidado para não misturar os recipientes (homem, mulher, criança e idoso).

Figura 3.9 – Recipientes utilizados na coleta da urina, identificados por cor. Fortaleza – CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Após 40 horas da distribuição dos recipientes, os mesmos foram coletados de casa em casa e encaminhados diretamente ao Labosan - Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará para análise físico-química e microbiológica.

Pretendia-se caracterizar quantitativamente segundo sexo e faixa etária. No entanto, no dia da coleta, a partir da realização de perguntas aos colaboradores do projeto, foi identificado que nem todos os participantes urinaram nos recipientes. No caso dos homens, 80% informaram que utilizaram o recipiente apenas no horário que estavam em casa, ou seja, fora do horário de trabalho. O mesmo ocorreu com as crianças, devido ao horário escolar. Diante desta situação e por já existir diversos trabalhos científicos sobre o assunto, foi decidido realizar apenas a caracterização qualitativa, e adotar a produção per capita de 1,5 L/pessoa.dia para homens, mulheres e idosos, e 0,9 L/pessoa.dia para crianças (LAMINO 2009; ZANCHETA *et al.*, 2007; BUENO *et al.*, 2005; RIOS *et al.*, 2007).

### 2.3.1. Parâmetros

Foram analisados os seguintes parâmetros de qualidade:

1) Físico-químicos: cor, turbidez, temperatura, condutividade, pH, amônia, nitrato, nitrito, NTK, fósforo, ortofosfato, DQO, cloreto, potássio e metais pesados (cromo, cobre, manganês, cobalto, cádmio, chumbo e zinco);

2) Microbiológicos: coliformes termotolerantes e grupos de bactérias específicas.

Com exceção da determinação de nitrato, todas as análises foram concretizadas seguindo rigorosamente as metodologias de cada parâmetro especificadas no “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2005), apresentadas na tabela 3.4. Para a análise de nitrato, foi utilizado o método de salicilato de sódio por espectrofotometria normatizado pela *Association Française de Normalisation*.

Para caracterização microbiológica, um volume de 50mL de cada grupo foi levado para um laboratório clínico, situado em Fortaleza, onde foi feita a urinocultura por meio de isolamento e contagem de placas.

Primeiramente, tentou-se determinar a concentração de *E.coli* pela forma mais rápida e simples utilizando a técnica Colilert®, no entanto devido a coloração amarela da urina dificultar a contagem de células ativas no Quanti-Tray®, essa técnica foi imediatamente descartada, adotando-se então, a técnica de fermentação em tubos múltiplos com Meio A1.

Tabela 3.4 - Metodologia dos parâmetros analisados e referências de normatização.

Parâmetro	Método analítico	Normatização
Cor	Colorimétrico	APHA - 2120 C
Turbidez	Nefelométrico	APHA - 2130 B
Condutividade	Potenciométrico	APHA - 2510 B
pH	Eletrométrico	APHA - 4500-H <sup>+</sup> B
Amônia	Destilação e Titulometria	APHA - 4500-NH <sub>3</sub> B e C
Nitrato	Salicilato por espectrofotometria	AFNOR – NFT90-012
Nitrito	Colorimétrico	APHA – NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B
NTK	Micro-kjeldahl	APHA – 4500-N <sub>org</sub> B
Fósforo	Persulfato-digestão/ácido ascórbico	APHA – 4500-P E
Potássio	fotometria de chama	APHA - 4500 P
Ortofosfato	Ácido ascórbico	APHA – 4500-P E
DQO	Refluxação fechada - Colorimétrico	APHA – 5220 D
Cloreto	Argentométrico (método de Mohr)	APHA – 4500-Cl <sup>-</sup> B
Metais pesados	Absorção atômica de chama de ar-acetileno	3111 B
Coliformes termotolerantes	Técnica de fermentação em Tubos Múltiplos com Meio A1	9221 E

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

### 2.3.2. Avaliação da simples estocagem como técnica de tratamento da urina

A urina foi estocada durante um período de 36 dias em quatro bombonas plásticas de 20L, divididas segundo faixa etária e sexo: homens (idade de 20 a 50 anos), mulheres (20 a 50 anos), crianças (entre 5 e 10 anos) e idosos (acima de 60 anos). Essa divisão foi realizada por meio de uma amostragem composta, onde as amostras individuais de cada grupo (homem, mulher, criança e idoso) foram acondicionadas nas bombonas. Conforme visualizado na figura 3.10, optou-se por recipientes de cor escura (azul) pra impedir a entrada de luz e com isso a ocorrência de reações indesejadas.



Figura 3.10 – Recipientes utilizados no armazenamento da urina. Labosan, Fortaleza – CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Os parâmetros monitorados nesta etapa foram: pH, condutividade, fósforo, ortofosfato, amônia, nitrato, nitrito e coliformes termotolerantes, analisados duas vezes por semana em duplicata.

A temperatura foi monitorada de 09h00min às 17h00min, a cada 2 horas, por meio de um termômetro de haste, modelo MV-363, marca Minipa®. Foi verificada baixa amplitude de temperatura durante o período, permanecendo próxima a 28°C com variação de  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ .

### 2.3.2.1. Análises matemáticas

A taxa de mortalidade bacteriana foi estimada pela lei de Chick (VON SPERLING, 1996), caracterizada como um modelo cinético de primeira ordem (equação 3.1).

$$N = N_0.e^{-k.t} \quad (3.1)$$

Em que:

N: Concentração do indicador bacteriano no tempo t, em NMP/100mL

N<sub>0</sub>: Concentração do indicador bacteriano no tempo 0, em NMP/100mL

k: coeficiente de decaimento bacteriano, em d<sup>-1</sup>

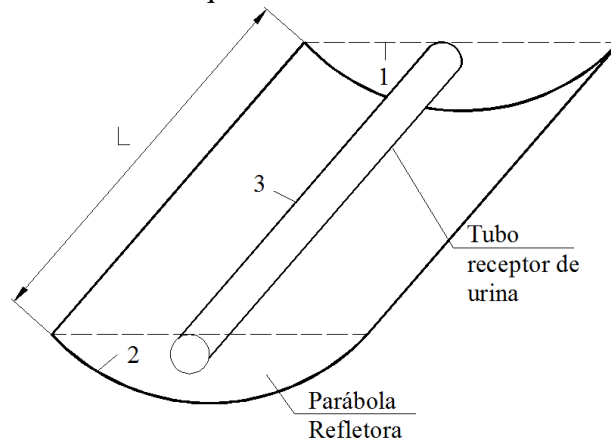
t: tempo em dias

O método utilizado para a determinação da constante de decaimento bacteriano  $k$  foi o método dos mínimos quadrados, de Reed-Theriault (VON SPERLING, 1996).

#### 2.4. Estudo da concepção do concentrador solar parabólico

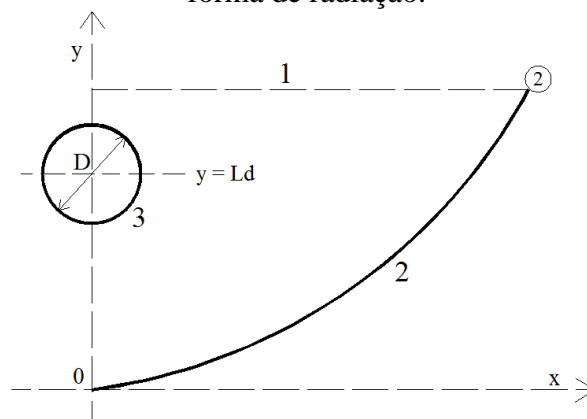
O concentrador solar parabólico desenvolvido está apresentado, esquematicamente, na figura 3.11.

Figura 3.11 – Desenho esquemático do concentrador solar parabólico



Fonte: Adaptado de Petela (2005)

Figura 3.12 – Desenho esquemático com o perfil da parábola para os cálculos do fator de forma de radiação.



Fonte: Adaptado de Petela (2005)

Foi proposto, portanto, o modelo de concentrador cilíndrico-parabólico que possui a característica de alcançar temperaturas da ordem de 300°C em detrimento, por exemplo, de

coletores planos convencionais, que normalmente atingem temperaturas inferiores a  $80^{\circ}\text{C}$  (ANJOS, 2008).

O concentrador solar cilíndrico-parabólico tem por finalidade produzir um volume de nutrientes considerável por meio de uma tecnologia que utiliza energia renovável. A forma e os materiais foram escolhidos e projetados a partir da análise da entropia livre e do estudo da transferência de energia entre as superfícies 2, 3 e a imaginária 1, mostradas nas figuras 3.11 e 3.12. Para tanto, foi utilizado o modelo matemático desenvolvido por Petela (2005), em que é feito um estudo detalhado do processo de transferência de calor radioativo, convectivo e condutivo. O modelo permite determinar as configurações da superfície refletora em que é possível obter a maior eficiência na transmissão de energia e entropia-livre. Os cálculos foram feitos considerando um comprimento mínimo da superfície refletora de 1,0m e máximo de 2,0m ( $1,0\text{m} < L < 2$ ); o material da superfície 2 sendo de alumínio polido; e o da superfície 3 de cobre pintado de preto. A escolha desses materiais deveu-se aos elevados coeficientes de emissividade apresentado pelo cobre pintado de preto (0,95) e de refletividade apresentado pelo alumínio polido (0,9) e, ainda, pela fácil acessibilidade dos mesmos no mercado. Foram assumidos como dados de entrada nesse modelo matemático os seguintes:

- Todos os fatores de forma de radiação,  $\phi_{ij}$
- Coeficientes de transferência de calor  $k_2$  e  $k_3$  dos materiais alumínio polido e cobre.
- Temperatura absoluta da urina (considerando água)  $T_w$ : 320K
- Temperatura absoluta do ambiente  $T_o$ : média para Fortaleza 293K ( $28^{\circ}\text{C}$ )
- Temperatura da superfície do sol: 6000K
- Emissividade da superfície 2 (alumínio polido) e 3 (cobre pintado de preto)

As equações 3.2 a 3.15, extraídas do trabalho do Petela (2005), foram utilizadas para fornecer os dados de saída:

- Insolação  $I$ , em W e poder emissivo  $E_2$  e  $E_3$ , em W (Watts)
- Calor liberado (+) e extraído (-) pelas três superfícies;  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ , em W;
- Radiosidade das três superfícies  $J_1$ ,  $J_2$  e  $J_3$ , em W;
- Temperaturas absolutas  $T_2$  e  $T_3$ , em K (Kelvin);
- Refletividades,  $\rho_1$  e  $\rho_2$ , obtidas a partir dos valores adotados de emissividades;
- Eficiência de energia do sistema,  $\eta$ .

Para as coordenadas  $x_2$ ,  $y_2$  e  $D$  (diâmetro em metros) mostradas na figura 3.12, foram atribuídos diversos valores e comparados os dados de eficiência de energia.

Os princípios de transferência de energia aplicados estão apresentados em Holman (1983). A superfície imaginária, que representa o ambiente (atmosfera) e a insolação suprida para as superfícies 2 e 3, é definida pela refletividade  $\rho_1 = 0$ , absorvidade  $\alpha_1 = 0$  e emissividade  $\varepsilon_1 = 0$ . A emissão efetiva pode ser determinada como insolação  $I$ , calculada por:

$$I = 2,16 \times 10^{-5} A_1 \varepsilon_s \sigma T_s^4 \quad (3.2)$$

Em que:

$I$  = insolação, em W;

$A_1$  = Área imaginária superfície 1, em m<sup>2</sup>;

$\varepsilon_s$  = emissividade do sol ( $\varepsilon=1$ );

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman ( $5,667 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ );

$T_s$  = temperatura absoluta do sol, em K.

A equação da conservação de energia do concentrador parabólico pode ser escrita por:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (3.3)$$

A quantidade  $Q_1$  representa a energia fornecida (fluxo de calor) ao sistema pela superfície 1:

$$Q_1 = I - J_2 \phi_{21} - J_3 \phi_{31} \quad (3.4)$$

Em que:

$Q_1$  = energia fornecida ao sistema pela superfície 1, em W;

$I$  = insolação, em W;

$J_2$  = radiosidade para a superfície 2, em W;

$J_3$  = radiosidade para a superfície 3, em W;

$\phi$  = fatores de forma de radiação.

A quantidade de energia  $Q_2$  representa a energia perdida pela superfície 2 por convecção ( $Q_{2c}$ ) e por radiação ( $Q_{2r}$ ) pela parte externa da superfície, definidas por:

$$Q_2 = Q_{2c} + Q_{2r} \quad (3.5)$$

$$Q_{2c} = -2A_2h_2(T_2 - T_0) \quad (3.6)$$

Em que:

$A_2$  = área da superfície 2, em  $m^2$ .

$h_2$  = coeficiente de transferência de calor por convecção.

$T_2$  = temperatura da superfície 2, em K.

$T_0$  = temperatura ambiente, em K.

$$Q_{2r} = -A_2\varepsilon_2(T_2^4 - T_0^4) \quad (3.7)$$

Em que:

$A_2$  = área da superfície 2, em  $m^2$ .

$\varepsilon_2$  = emissividade da superfície 2.

$T_2$  = temperatura da superfície 2, em K.

$T_0$  = temperatura ambiente, em K.

A quantidade de energia  $Q_3$  é a soma da energia transferida pela parede do tubo receptor de urina para a urina ( $Q_{3u}$ ) mais a energia transferida por convecção da superfície do tubo para o ambiente (atmosfera). Estão definidas as equações:

$$Q_{3u} = -A_3k_3(T_3 - T_w) \quad (3.8)$$

$$Q_{3c} = -A_3h_3(T_3 - T_w) \quad (3.9)$$

Sendo:  $k_3$  o coeficiente de transferência de calor,  $h_3$  o coeficiente de transferência de calor por convecção da superfície 3,  $T_3$  a temperatura absoluta da superfície 3, em K, e  $T_w$  a temperatura absoluta da urina (água), em K.

Por meio do balanço do processo de radiação, podem-se definir ainda as seguintes equações:

$$Q_2 = E_2 - \varepsilon_2(\varphi_{12}J_1 + \varphi_{32}J_3 + \varphi_{22}J_2) \quad (3.10)$$

$$Q_3 = E_3 - \varepsilon_3(\varphi_{13}J_1 + \varphi_{33}J_3 + \varphi_{23}J_2) \quad (3.11)$$

Em que  $E$  é o poder emissivo de cada superfície, tendo:

$$E_2 = A_2 \varepsilon_2 \sigma T_2^4 \quad (3.12)$$

$$E_3 = A_3 \varepsilon_3 \sigma T_3^4 \quad (3.13)$$

Por definição de radiosidade (J), tem-se:

$$J_3 = E_3 + \rho_3 (\varphi_{13} J_1 + \varphi_{23} J_2 + \varphi_{33} J_3) \quad (3.14)$$

Foi utilizado, então, a ferramenta *solver* do Microsoft Excel® otimizar as equações acima descritas.

Foram feitos 3 processos iterativos. A principal função objetiva era maximizar a quantidade de energia  $Q_{3u}$ , ou seja, a quantidade de energia aproveitável para elevar a temperatura e evaporar a urina dentro do tubo de cobre.

Foi determinada, ainda, a eficiência energética ( $\eta$ ) definida pela equação 3.15:

$$\eta = 100 \frac{Q_{3u}}{I} \quad (3.15)$$

## **2.5. Fabricação e desenvolvimento do protótipo.**

A partir dos resultados do estudo da concepção do concentrador solar, foi iniciada a etapa de aquisição dos materiais, construção do concentrador e instalação do equipamento na área anexa à estação agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. A escolha desta área foi motivada pela proximidade aos equipamentos de medição de dados agrometeorológicos lá existentes. Os parâmetros necessários para a análise do protótipo são radiação solar global, radiação líquida, temperaturas máxima e mínima, direção do vento, precipitação pluviométrica e quantidade de horas de brilho, velocidade do vento.

### **2.5.1. Escolha dos materiais**

Existem diversos materiais que podem ser utilizados como suporte. Anjos (2008) utilizou uma parábola construída de madeira com cantoneiras de alumínio para assentar a

superfície refletora constituída de uma placa de aço inoxidável. Vianna (2008) também sugere a utilização da madeira como estrutura do concentrador por ser de baixo custo e de fácil manuseio para construção quando comparada com estruturas de aço ou alumínio.

A maior dificuldade no desenvolvimento do concentrador foi definir, exatamente, o material da estrutura da parábola. Os pré-requisitos mínimos eram: elevada durabilidade, baixo peso específico, elevada uniformidade e ausência de deformações que proporcionassem qualquer alteração no foco da parábola. Caso o tubo absorvedor saísse do foco ocorreria uma redução significativa da eficiência de transferência de energia entre a superfície parabólica e o tubo de cobre onde ocorre o fluxo de urina. Após um estudo do custo *versus* benefício e vantagens e desvantagens entre os seguintes materiais: madeira, aço e fibra de vidro, optou-se por este último.

Apesar de a madeira possuir um baixo peso específico e ser de fácil manuseio, o aspecto durabilidade foi decisivo na hora da escolha, e esse material foi descartado, uma vez que ao ser exposto às intempéries como chuva, radiação solar e umidade, o mesmo teria uma vida útil consideravelmente reduzida. A estrutura de aço chegou a ser planejada e projetada, contudo o andamento do projeto foi inviabilizado, pois as empresas de metalurgia não conseguiam confeccionar uma peça que obedecesse a parábola com tamanha precisão. Diante deste cenário, foi decidido que a estrutura da superfície parabólica seria feita de fibra de vidro, um material de elevada durabilidade e peso específico mediano, aproximadamente  $1,5\text{g/cm}^3$ , quando comparado com a madeira,  $0,75\text{g/cm}^3$ , e aço inox,  $8\text{g/cm}^3$ .

A parábola de fibra de vidro foi confeccionada em uma empresa especializada de Fortaleza. Houve um acompanhamento rigoroso em todas as etapas da construção e o resultado foi uma superfície lisa, livre de ondulações e respeitando a equação da parábola. A figura 3.13 apresenta as etapas de confecção da parábola em fibra de vidro. Na expectativa de uma elevada eficiência desse protótipo, foi fabricado um molde (gabarito) de madeira de boa qualidade que pode ser utilizado para confecção de outras superfícies parabólicas no futuro.

Figura 3.13 – Conjunto de imagens apresentando o acompanhamento das etapas de confecção da superfície parabólica de fibra de vidro, fixação e alinhamento dos perfis em madeira. Fortaleza-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

A superfície refletora é considerada o componente principal no sistema de concentração solar, pois dela depende toda a energia transmitida para o tubo absorvedor. Semelhante à estrutura, existem diversos tipos de superfícies pesquisadas. Uma solução bastante econômica é a utilização de papel alumínio comum, contudo essa vantagem econômica é comprometida pela baixa durabilidade do material, sendo de fácil oxidação natural. De acordo com Moura (2007), o aço inoxidável é um material a ser considerado, no entanto possui um preço elevado e a propriedade de absorver o espectro infravermelho, afetando o rendimento do concentrador. Ainda conforme o mesmo autor, o filme de poliéster *mylar* é parecido com o papel alumínio, porém com uma vida útil maior, mais resistente e com propriedades de refletividade e baixo coeficiente de absorção de radiação solar excelentes.

Embora sendo um material ainda importado e com mercado apenas em São Paulo, a película *mylar* possui características importantes para ser escolhida como superfície refletora do protótipo desenvolvido neste trabalho. O filme de poliéster *mylar* já é utilizado

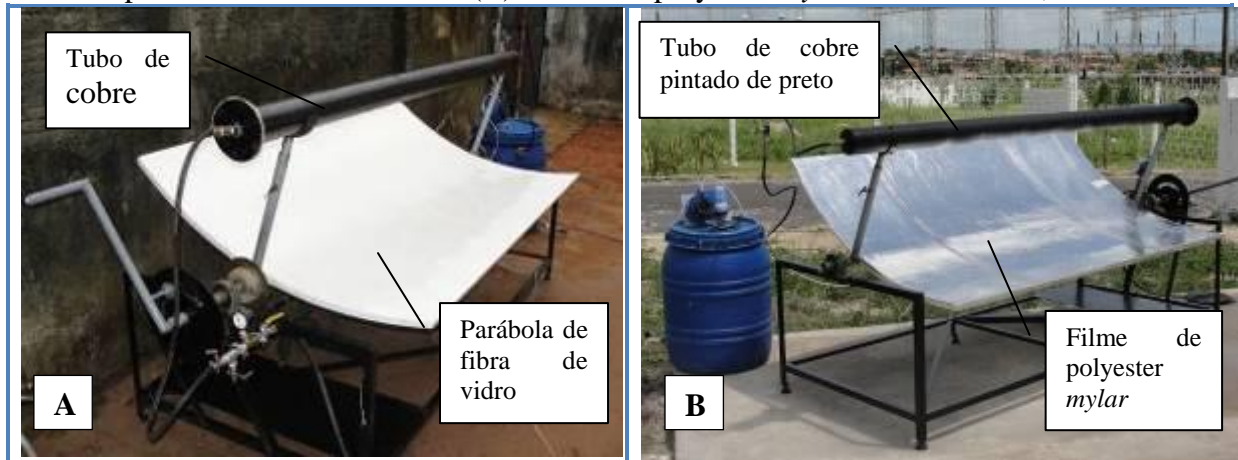


para fins de concentração de energia há mais de duas décadas. Em uma pesquisa realizada por Bezerra (1979), ao comparar diferentes superfícies refletoras com a finalidade de construir um fogão a energia solar, a temperatura média obtida com a superfície de filme de poliéster *mylar* foi superior em 14 e 30%, respectivamente às temperaturas de alumínio polido e aço inox. Ele ainda considera que quanto maior o grau de polimento do alumínio, maior é a temperatura que esse material proporciona, situando-se bem próximo à película *mylar*. Levando em consideração os trabalhos anteriores e as propriedades dos materiais pesquisados, foi decidido utilizar a película *mylar*.

No entanto, após 6 meses de exposição direta à luz solar, a película que já estava instalada no concentrador começou a perder sua capacidade de refletividade. Foram verificadas diversas áreas sem o espelhamento, tornando-se apenas uma película plástica. Uma reação entre o silicone utilizado para aderir a película na parábola de fibra de vidro pode ser uma possível explicação para a perda da propriedade de reflexão do *mylar*.

O tubo de cobre foi escolhido por ser o material mais pesquisado e utilizado para este fim e por ser de fácil acessibilidade no mercado com preços razoáveis. O mesmo recebeu uma pintura de tinta preta fosca aumentando dessa forma a absorção de calor (espectro de radiação infravermelha). O tubo absorvedor de cobre classe E, possui um diâmetro nominal de 4" ou 104mm, diâmetro externo de 104,8 e uma espessura da parede de 1,2mm. Sua pressão de serviço é 14kgf/cm<sup>2</sup> e uma densidade de 3,48kg por metro de tubulação. Na figura 3.14 indicam-se os principais materiais utilizados no protótipo.

Figura 3.14 – Protótipo concentrador solar. (A) - detalhe do tubo de cobre pintado de preto, parábola de fibra de vidro. (B) - filme de polyester *mylar*. Fortaleza-CE, 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Além das superfícies e materiais de fundamental importância para a eficiência de transferência de calor, foram instaladas outras peças que facilitam e promovem um melhor controle do funcionamento do protótipo.

A figura 6.6 mostra as peças desenvolvidas para fazer a rotação da superfície refletora e assim acompanhar o movimento do sol ao longo do dia. Atualmente, esse movimento está sendo realizada por meio de uma manivela de forma manual. Para iniciar e finalizar o movimento foi instalado um manípulo, facilitando o manuseio e descartando o uso de ferramentas, conforme apresentado na figura 3.14. A angulação correta é determinada visualmente quando a radiação solar insere-se perpendicularmente à parábola, projetando a sombra do tubo de cobre sobre o vértice da mesma.

Figura 3.15 – Peças e equipamentos responsáveis pelo movimento de rotação da parábola concentradora de energia solar. (A) - manivela para rotação da parábola e suporte de apoio do motor. (B) - catraca e manípulo. Fortaleza-CE, 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Para realizar o controle do fluxo de urina no sistema, foram instalados uma bomba com vazão regulável, um tanque de sucção, uma tubulação de sucção e uma serpentina de cobre para troca de temperatura e condensação do fluido na saída do concentrador. O sistema de controle do fluxo de entrada e saída da urina no sistema está apresentado na figura 3.16.

Figura 3.16 - Peças responsáveis pelo fluxo de entrada e saída da urina do concentrador. (A) - Bomba com vazão regulável e tanque. (B) - tubulação de sucção e serpentina de condensação. Fortaleza-CE, 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Para a tubulação de recalque foi utilizado um tubo de silicone de 16 mm, o qual encaminha a urina para um sistema de pré-aquecimento. Este sistema era constituído de uma placa de metal pintada de preto a fim de poder absorver mais energia (calor) e de um tubo de pvc de alta resistência em forma de caracol (figura 3.17).

Figura 3.17 - (A) Tubulação de recalque (B) – Sistema de pré-aquecimento. Fortaleza-CE, 2010.

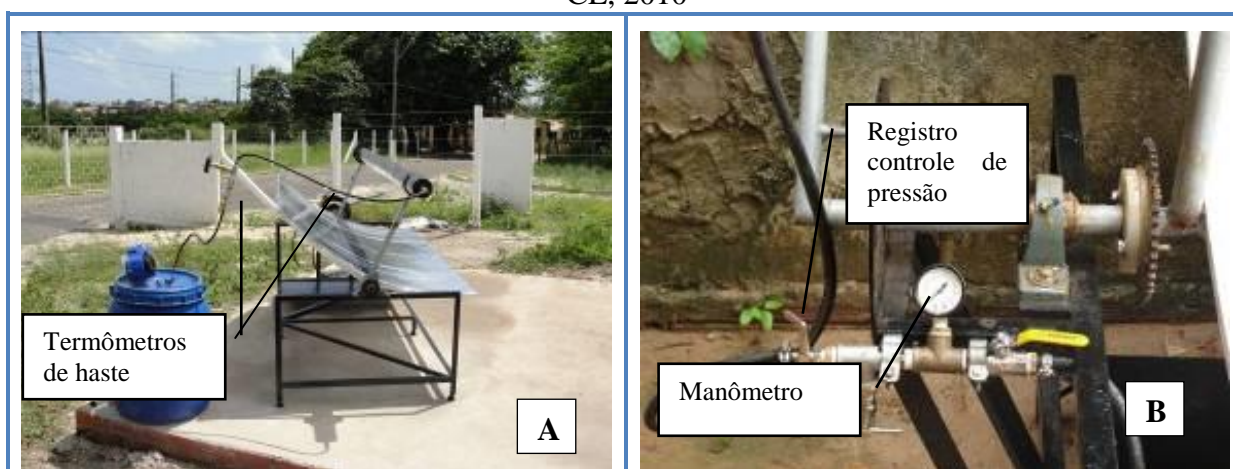


Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

### 2.5.2. Instrumentação do concentrador solar

Para monitoramento e coleta de dados do protótipo, foram instalados os seguintes instrumentos de medição: um manômetro na entrada do sistema para controle e monitoramento da pressão (figura 3.18); dois termômetros de haste (figura 3.18), um na entrada do sistema e outro no sistema, 4 termopares tipo K e 1 multímetro digital com entrada para soquete termopar.

Figura 3.18 - (A) Termômetro de haste (B) – Registros de controle e manômetro. Fortaleza-CE, 2010



Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.5.3. Instrumentação na estação agrometeorológica

A estação agrometeorológica da UFC está equipada com uma estação convencional e automatizada. Os parâmetros necessários para a análise do protótipo são radiação solar global, radiação líquida, temperaturas máxima e mínima, direção do vento, precipitação pluviométrica e quantidade de horas de brilho.

A Estação convencional possui os seguintes equipamentos: actinógrafo de Robitzsch, piranômetro de Epply, heliógrafo de Campbell, barômetro de mercúrio de cuba fixa, barógrafo para pressão em milibar, anemômetro elétrico, anemômetro de canecas, anemômetro Universal, termômetros de máxima e mínima, termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido, termohigrógrafo, evaporímetro de Piche, pluviômetro tipo Ville de Paris, pluviômetro de Helmann, pluviógrafo de Helmann e de balança, tanque de evaporação Classe A e uma bateria de geotermômetros a diversas profundidades.

#### 2.5.4. Automação do sistema

Além do sistema manual de rotação da parábola, foram ainda instaladas peças para uma possível automação da rotação da parábola. O protótipo já está todo preparado para receber o motor e a placa eletrônica que farão a rotação da superfície refletora de forma automática, possuindo, atualmente, a catraca e o suporte metálico de apoio ao motor, conforme observado na figura. 3.15. Por não serem essenciais para o funcionamento do concentrador solar, esses componentes elétrico-eletrônicos não foram instalados, pois como já mencionado, o movimento está sendo realizado pelo conjunto de manivela e manípulo.

### 2.6. Procedimentos e ensaios

#### 2.6.1. Acidificação da urina

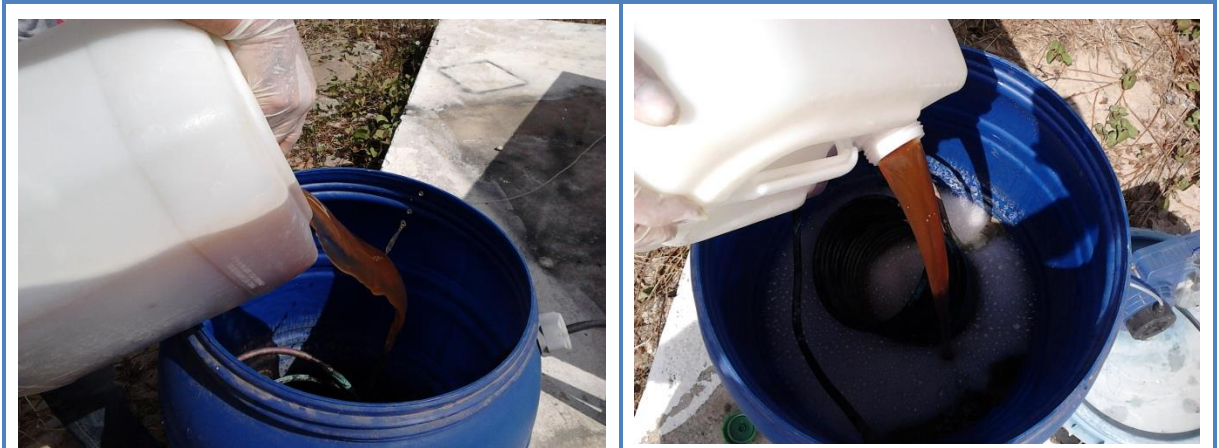
O pH da urina foi reduzido abaixo de 3,0 a fim de evitar a volatilização do nitrogênio amoniacal. Este valor foi adotado considerando os resultados obtidos por Hellström *et al.* (1999). A etapa de acidificação foi realizada no laboratório de saneamento da UFC, em que o ácido sulfúrico foi adicionado à urina. Foram necessários 12,2mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para cada litro de urina.

#### 2.6.2. Ensaios com o protótipo

Os ensaios com o concentrador foram realizados durante o período de 10 a 20 de dezembro de 2012. Foram utilizados tubos com dois diâmetros diferentes para avaliar a eficiência do sistema, um de 22 e outro de 100 mm. Os ensaios com o protótipo seguiram os procedimentos abaixo descritos.

- Após a redução do pH, a urina acidificada foi encaminhada para o tanque de sucção, conforme figura 3.19. Acima do tanque existe uma bomba com vazão regulável para sucção e recalque da urina.

Figura 3.19 - Despejo da urina no tanque de sucção. Fortaleza-CE, 2012



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

- A urina recalçada passou pelo sistema de pré-aquecimento constituído de tubo de PVC de alta resistência disposto em forma de caracol sobre a placa de aço inox pintada de preto e, então, encaminhada para dentro do tubo absorvedor de cobre (22 ou 100 mm de diâmetro).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Aceitabilidade do ecossaneamento em comunidade peri-urbana**

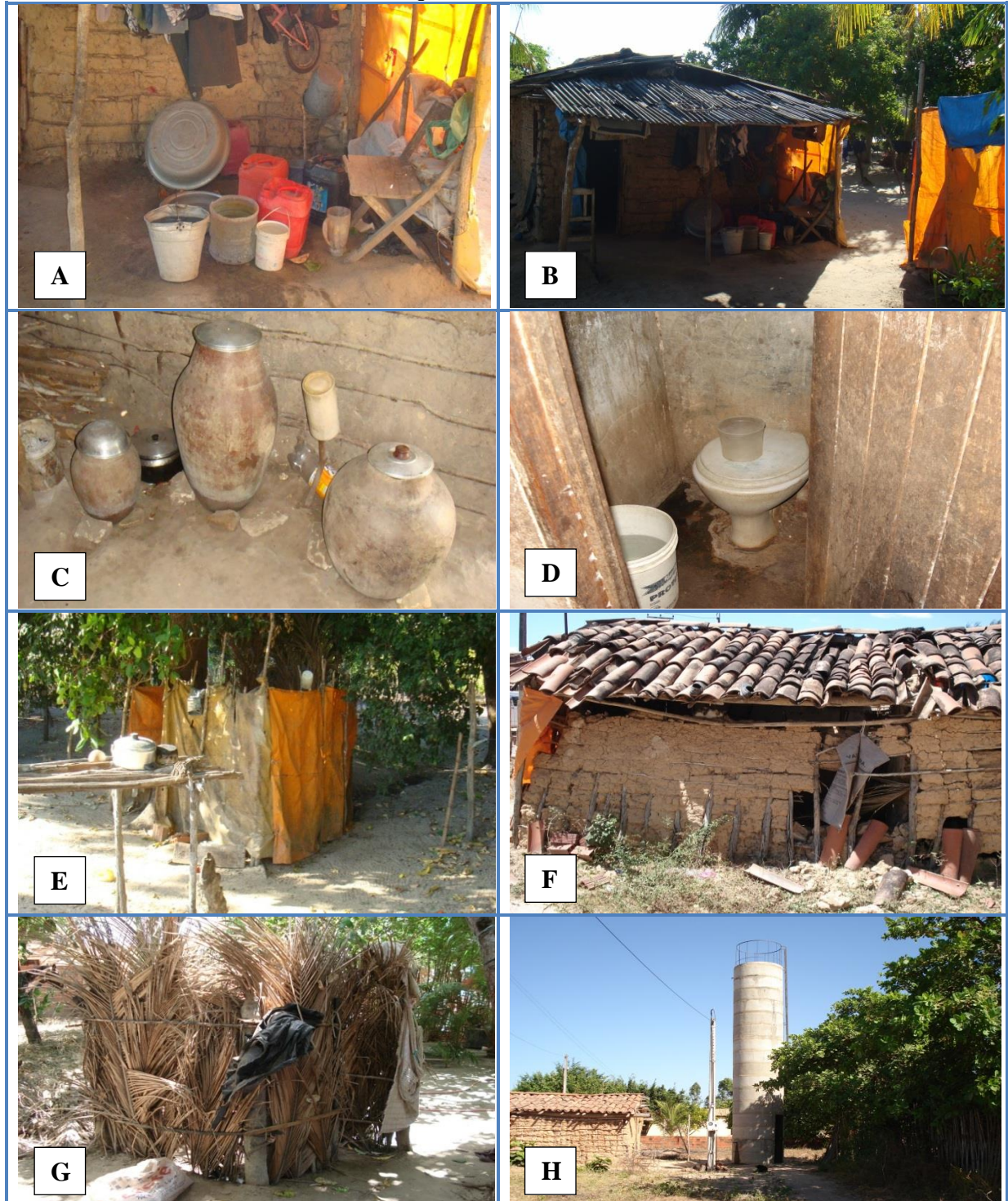
##### *3.1.1. Pré-diagnóstico socioeconômico e ambiental*

Com relação ao abastecimento de água, 95% dos domicílios contam com uma rede rudimentar de distribuição de água proveniente de um chafariz público construído pela prefeitura, enquanto o restante é abastecido por cisternas de captação de água de chuva ou poços rasos (figuras 3.20 e 3.21). O termo “rudimentar” citado logo acima se refere ao pequeno recobrimento da tubulação, à presença de vários pontos com vazamentos e à precária manutenção das peças existentes. Vale destacar que não existe cobrança de taxa pela água servida pelo chafariz.

Do total de entrevistados, 82% responderam que tratam a água em casa antes de beber, dos quais 71% utilizam hipoclorito de sódio distribuído pelo agente de saúde, 15% filtro cerâmico e 14% fervura. Existem aproximadamente dez cisternas de placa na comunidade, em que sete foram construídas com o apoio do programa federal 1 milhão de cisternas de placa e o restante pelos próprios moradores.

Nenhuma das residências possui serviço público de coleta de esgotamento sanitário. 55% das famílias destinam as fezes e a urina para fossas rudimentares por meio de sanitários convencionais e com o uso de baldes, 25% jogam diretamente sobre o solo no seu terreno e enterram e o restante joga nas ruas, terrenos baldios e propriedades vizinhas (figura 3.20).

Figura 3.20 – Mosaico de imagens da comunidade Vila Tomé. (A) – Recipientes de armazenamento de água de uma família da comunidade. (B) – Residência e local de banho. (C) – Potes de armazenamento de água para beber. (D) – Banheiro de uma residência na comunidade. (E) – Local do banho de uma família. (F) – Precárias condições de habitação. (G) – Local utilizado para destinar os excretas. (H) – Chafariz público da comunidade. Aquiraz – CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)



Figura 3.21 – Cisternas de placa na comunidade Vila Tomé. Aquiraz, CE. 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

A tabela 3.5 traz os resultados da análise microbiológica das amostras coletadas durante os anos de 2009 e 2010. É possível observar que houve presença de coliformes termotolerantes em todas as amostras das cisternas. A menor contaminação foi verificada nos dias 24 de julho e 12 de outubro de 2009, com o valor de  $7,5 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$  na cisterna 3 e a maior contaminação ocorrida em 26 de janeiro de 2010 ( $2850,3 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ), na cisterna 2. Os valores médios geométricos também são dados bastante impactantes, variando de 94,54 a  $625,9 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ . Esses resultados suportam a necessidade de que toda água de chuva armazenada em cisternas de placa deve ser desinfetada, mesmo o usuário adotando o procedimento recomendado de descarte das primeiras águas, uma vez que todas as três famílias afirmaram que sempre realizam esse procedimento. Por outro lado, sugere-se que os sistemas de limpeza das primeiras águas de chuva sejam automatizados, ou seja, não dependam do usuário para seu funcionamento.

Estes dados vêm ao encontro dos resultados obtidos por Pereira *et al.* (2007); Silva (2006) e Tavares (2009), em que comprovaram que a água captada nas cisternas de placa não está livre de contaminação microbiológica, ou seja, não atende aos padrões de potabilidade exigidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2011). Segundo Blackburn *et al.* (2005), as possíveis causas de contaminação das cisternas são: a presença de animais sobre as estruturas de captação e dentro das cisternas; o mau acondicionamento dos baldes usados para coletar a água; o uso da cisterna para receber água de outras fontes e o não descarte ou descarte inadequado das primeiras águas.

Tabela 3.5 - Concentração de coliformes termotolerantes (100NMP/100mL) de três cisternas de placa e do chafariz público na comunidade Vila Tomé, de fevereiro de 2009 a abril de 2010.

Amostra	07/fev	20/mar	24/jul	01/set	12/out	19/jan	26/jan	01/fev	30/abr	Média Geom.
Chafariz público	10,8	1	7,5	NC	238,2	NC	38,4	NC	1	9,5
Cisterna 1	648,8	920,8	139,6	325,5	NC	NC	NC	NC	61,3	278,1
Cisterna 2	214,3	365,4	240	1413,6	1553,1	2850,3	387,3	517,2	NC	625,9
Cisterna 3	547,5	60,2	7,5	11	7,5	1299,7	95,9	NC	2511,3	94,5

NC: amostra não coletada

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

A tabela 3.6 apresenta as médias e os desvios-padrão dos parâmetros físico-químicos das amostras coletadas. Quanto ao odor, nas três cisternas o resultado foi não objetável.

Tabela 3.6 - Médias e desvios-padrão dos parâmetros físico-químicos de três cisternas de placa e do chafariz público na comunidade Vila Tomé, durante fevereiro de 2009 a abril de 2010.

Análise	Unidade	Chafariz (n=5)		Cisterna 1 (n=5)		Cisterna 2 (n=8)		Cisterna 3 (n=8)	
		média	DP	média	DP	média	DP	média	DP
odor	-	no	-	no	-	no	-	no	-
Cor	uH	12,8	2,2	6,6	2,3	15,4	4,6	8,7	5,9
Turbidez	uT	0,3	0,2	0,9	0,7	0,8	0,7	1,0	0,9
Condutividade	mS/cm	389,0	19,2	125,1	8,9	135,2	28,9	451,5	14,1
pH	-	7,2	0,4	7,7	0,4	7,7	0,5	9,2	0,4
Alcalinidade	mg/L	135,6	39,7	39,9	24,5	52,9	29,0	135,9	43,4
Dureza	mg/L	38,3	2,9	39,9	16,9	44,0	5,1	37,3	8,8
Sulfeto	mg/L	4,0	2,9	12,7	13,4	4,7	9,5	6,4	8,5
Sulfato	mg/L	14,2	4,7	1,8	1,9	4,5	6,5	14,7	4,7
Cloreto	mg-Cl/L	41,4	8,0	33,2	8,3	3,4	1,9	37,5	8,4
Ortofosfato	mg/L	1,4	1,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1
Nitrato	mg/L	0,0	0,0	0,3	0,3	3,9	0,2	0,3	0,3

no – não objetável

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Analisando a turbidez, constata-se que todas as cisternas apresentaram valores médios abaixo do recomendado pela NBR 15527/2007 (2,0uT) que trata do aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis. O maior valor foi de 2,2 uT na cisterna 3. A Portaria MS nº 2914/11 que dispõe do padrão de potabilidade da água recomenda um valor máximo de turbidez igual a 1,0 uT como sendo um padrão de aceitação para consumo humano. As médias de turbidez ficaram abaixo do preconizado

Quanto ao parâmetro cor, 28% apresentaram valores acima do permitido pela Portaria MS nº 2914/11, de 15uH. Apenas a cisterna 2 possui uma água com valor médio

acima do estabelecido em Portaria, contudo em todas as cisternas foram encontrados valores acima em pelo menos uma amostra. Ainda em relação à cor, a segunda maior média foi encontrada na água do chafariz, com 12,83uH, devido aos sólidos dissolvidos frequentemente presentes em águas subterrâneas.

Com relação à alcalinidade, os resultados variaram entre 11,64 a 165,34mgCaCO<sub>3</sub>/L, fato este, provavelmente, devido à composição química do material da superfície do telhado que é a telha cerâmica. Vale destacar, que a Portaria 2914/2011 não traz referência ao parâmetro alcalinidade, não sendo possível fazer uma comparação dos resultados obtidos.

Quanto aos parâmetros dureza e cloretos, todas as amostras possuíram valores abaixo dos definidos na portaria do Ministério da Saúde, que é de 500 mgCaCO<sub>3</sub>/L e 250mg/L, respectivamente. A quantidade de cloretos variou de 2 a 48mg/L e a condutividade entre 99 a 456 µS/cm. Valores estes, possivelmente, devido à pequena distância entre a comunidade e o mar, 7Km aproximadamente. O sulfato também presente na água de chuva pode ser explicado ainda pelo mesmo motivo. A presença de sulfetos pode indicar a presença de matéria orgânica contendo enxofre no sistema de captação de água de chuva, provavelmente, no telhado das residências.

O ortofosfato apresentou concentrações em sua maioria menores que 1,0mg/L, tendo sido influenciado, provavelmente, por limos nos telhados cerâmicos.

### *3.1.1. Oficina de Educação Sanitária*

Apesar do pequeno número de participantes (10 a 20 pessoas) nas oficinas e palestras, foi possível obter informações importantes para a tomada de decisão do projeto de implantação dos sanitários ecológicos. Inicialmente, os participantes se mostraram bastante interessados, principalmente com relação à reciclagem de nutrientes na agricultura. Ninguém conhecia o ecossaneamento, nem separação dos excretas ou sanitários de compostagem.

### *3.1.2. Satisfação quanto à infraestrutura e percepção do ecossaneamento*

Do total de entrevistados, 65% acreditam que a água do chafariz é de boa qualidade, 32,5% acham que a água não tem qualquer problema e 2,5% percebem que existe um mau cheiro. As análises microbiológicas da água do chafariz indicaram contaminação de

até 238,2 NMP de coliformes termotolerantes por 100 mL de água, nas amostras coletadas em outubro de 2009 (tabela 3.5).

Mesmo com a precariedade das instalações sanitárias, 42,5% responderam estarem satisfeitos com as condições atuais.

Um importante resultado obtido com o diagnóstico foi o interesse comum por parte dos entrevistados em reutilizar as águas cinza (água residuária de chuveiro, pia e tanque de lavar roupas) em culturas de bananeiras e abacateiros (figura 3.22). 42,5% dos entrevistados reutilizam de forma informal suas águas cinza em culturas alimentícias. Acreditava-se que a prática destes hábitos facilitaria a aceitação dos conceitos do ecossaneamento.

Figura 3.22 – Reúso informal das águas cinza em residência na comunidade Vila Tomé, Aquiraz, – CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

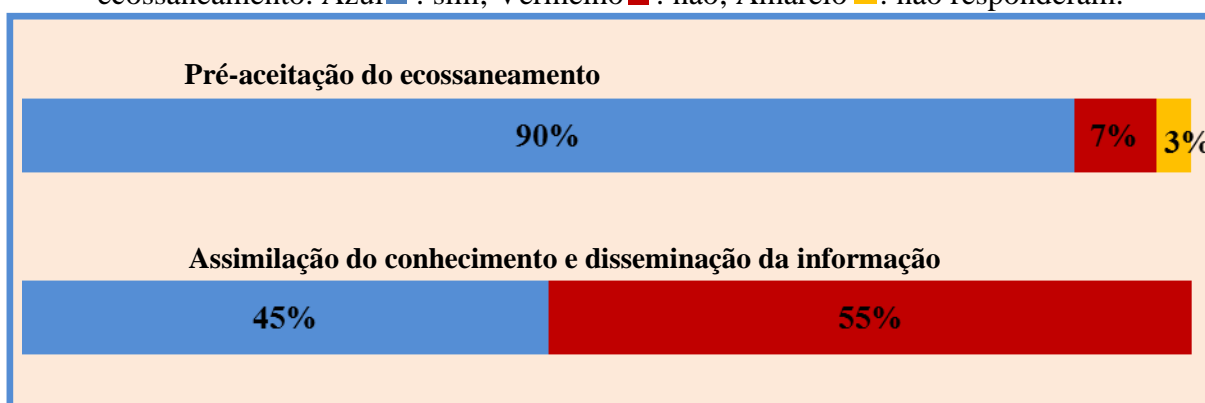
A aplicação de questionário sobre satisfação e percepção do ecossaneamento aconteceu duas semanas após a última oficina de sensibilização, porém, conforme apresentado na figura 3.23, apenas 45% das pessoas entrevistadas responderam que tinham escutado falar em ecossaneamento. Do total de entrevistados do sexo masculino e feminino, respectivamente, 17% e 50%, afirmaram que já tinham escutado algo sobre ecossaneamento. Apesar da diferença absoluta dos valores, o teste de fisher demonstra que a proporção de

respostas concordantes/discordantes é a mesma, quer o entrevistador seja do sexo masculino ou feminino (Teste exato de Fisher=0,143,  $p>0,05$ ).

Quando perguntados se usariam sanitários ecológicos caso fossem implantados na comunidade, 90% responderam que sim, 7% não e 3% não quiseram responder (figura 3.23). Esses números não são proporcionais a ambos os sexos, ocorrendo diferença significativa de resposta ( $\chi^2=25.185$ ,  $p<0,05$ ). Todas as mulheres entrevistadas responderam que poderiam ser usuárias de um sanitário separador, enquanto esta afirmativa foi respondida por apenas 33% dos homens.

Apesar da motivação e interesse nas oficinas, o potencial de replicabilidade e disseminação do conceito mostrou-se muito baixo, visto que os conceitos transferidos não foram repassados pelos próprios moradores aos demais na comunidade.

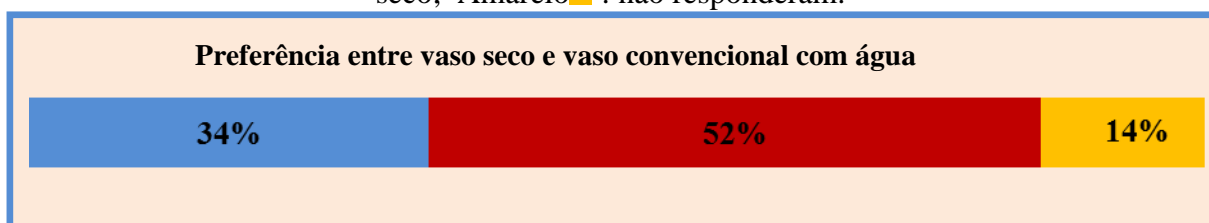
Figura 3.23 – Opinião de 40 entrevistados (40% da comunidade Vila Tomé) a respeito do ecossaneamento. Azul ■ : sim; Vermelho ■ : não; Amarelo ■ : não responderam.



Fonte: Autor (2013)

Com relação ao tipo de sanitário, 52% disseram que prefeririam utilizar um sanitário seco com separação de excretas, como apresentado na figura 3.24, indicando uma possível preocupação da população quanto à gestão da água.

Figura 3.24 – Opinião de 40 entrevistados (40% da comunidade Vila Tomé) a respeito do ecossaneamento. Azul ■ : preferência por vaso com água; Vermelho ■ : preferência por vaso seco; Amarelo ■ : não responderam.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

As mulheres foram mais receptivas ao sanitário seco ( $\chi^2=9,331$ ,  $p<0,05$ ). Dentre as duas opções apresentadas, 62% disseram preferir sanitário seco, 24% sanitário com água e 15% não quiseram responder. Ao contrário das mulheres, 83% dos homens entrevistados preferem o sanitário com água e 17% não quiseram responder.

Estes resultados refletem diretamente a importância das oficinas no processo de compreensão quanto aos princípios do ecossaneamento. As mulheres que se fizeram presentes e mais participativas nas oficinas responderam de forma mais positiva. Salienta-se que a forma como o conhecimento técnico é transmitido aos usuários deve ser adaptado à realidade e cultura específica de cada comunidade, conforme reportado em Cohim *et al.* (2007). Estes autores afirmam, ainda, que além de informar a população, é preciso construir um entendimento acerca das tecnologias existentes de saneamento ora em uso e suas consequências, responsabilizando cada sujeito nessa escolha. A implantação de um novo modelo de saneamento, como de qualquer outra tecnologia requer a compreensão acerca de seu funcionamento, benefícios e riscos.

Em uma pesquisa na Suíça, com público de classe social mais elevada e aspectos culturais distintos, Pahl-Wostl (2003), ao entrevistar um grupo de 44 voluntários, constatou que 79% dos entrevistados afirmaram que o sanitário separador de excretas é uma boa ideia, 89% responderam que poderiam viver em residências que possuem estes sanitários contanto que os custos, a manutenção e os esforços para limpeza e higienização não fossem significativamente maiores que os sanitários convencionais.

Em outra pesquisa, também na Suíça, feita por Lienert; Larsen (2006), realizada em prédios públicos (faculdade, instituto de pesquisa e uma biblioteca) que dispõem de sanitários separadores, os níveis de aceitação foram extremamente satisfatórios. De um total de 1249 entrevistados da faculdade e do instituto de pesquisa, 72% afirmaram que esta tecnologia é uma boa ideia. Aproximadamente 80% classificaram o sanitário separador como equivalente ou superior aos sanitários convencionais.

De acordo com Rosenquist (2005), o uso, o entendimento e a aceitação das pessoas, por alternativas sustentáveis de saneamento têm mostrado um grande desafio. Nawab *et al.* (2006) complementam que apesar dos diversos pontos positivos no uso do ecossaneamento como a redução do risco de doença, prevenção da poluição e otimização do manejo e reúso dos nutrientes, a implantação deste sistema enfrenta vários desafios no âmbito social e cultural.

Lennartsson *et al.* (2009), pesquisando aspectos técnicos, econômicos e sociais de tecnologias centralizadas e descentralizadas de saneamento básico em três países a partir de critérios de sustentabilidade, constataram que nenhum sistema de saneamento pode ser considerado universalmente sustentável quando se trata do cumprimento de todos os critérios e aspectos estabelecidos. Existem prós e contras, dependendo do contexto e do tipo de critério adotado. Assim, é impossível identificar uma lista completa de fatores que afetarão a sustentabilidade do sistema de saneamento sem conhecer o contexto específico. Como exemplo, os entrevistados da Suécia consideram que os sanitários separadores possuem um risco ligeiramente maior de contrair doenças em comparação com o sistema de coleta pública de esgoto, devido à necessidade do manejo dos excretas in loco, e afirmam ainda que estes são menos convenientes que o sistema tradicional. Já, os entrevistados da África do Sul e do México consideram que os riscos e a conveniência de uso dos sanitários ecológicos são semelhantes aos sistemas tradicionais, tendo ainda a pesquisa no México apontado que estes sanitários são mais apropriados à cultura local (LENNARTSSON *et al.*, 2009).

Por outro lado, pesquisas sociais desenvolvidas em comunidades de baixa renda na África do Sul (DUNCKER; MATSEBE, 2008), no Paquistão (NAWAB *et al.*, 2006), em Gana (VAN DER GEEST, 1998) mostraram grande rejeição aos sanitários separadores. De forma, geral, esta tecnologia é vista pela população como ultrapassada, mal cheirosa, insegura e tecnicamente inferior, enquanto os sanitários convencionais são opções para pessoas ricas e com melhor qualidade de vida. Rosenquist (2005) destaca que dentre os fatores mais importantes que levam o homem a evitar as técnicas sustentáveis de disposição dos excretas estão: a repulsa ou o nojo motivado pelos excretas, o risco à saúde provocado pelo reúso e o status de possuir tecnologias convencionais.

Vale lembrar que a escolha de uma tecnologia em detrimento de outra por uma pessoa ou um grupo de pessoas, não está relacionada exclusivamente ao conhecimento científico. As técnicas desenvolvidas por um povo visam à adaptação a um contexto e à satisfação de um conjunto complexo de necessidades (COHIM *et al.*, 2007). Independente da tecnologia a ser adotada, a participação ativa, o envolvimento da população em todas as etapas do projeto, desde a concepção até a sua implantação são peças-chaves do processo de sensibilização e motivação para a escolha de tecnologias mais apropriadas para suas necessidades (KAPLAN, 2000). De acordo com Nawab *et al.* (2006), o ecossaneamento precisa ser flexível para adaptar-se aos diferentes contextos socioculturais.

Cohim *et al.* (2007) afirmam que em relação aos programas e projetos de ecossaneamento é necessário o estabelecimento de um vínculo de confiança entre técnicos e

comunidade para assegurar uma comunicação eficiente e a troca de saberes e anseios entre ambos. Avvannavar; Mani (2008) destacam que diversos programas milionários de saneamento executados em diferentes países tiveram resultados pouco satisfatórios, provavelmente devido ao desconhecimento por parte dos técnicos quanto aos anseios e atitudes da população para o tema saneamento.

Possivelmente, o fato dos técnicos que participaram deste projeto serem alunos de universidade pode ter influenciado na criação do vínculo. A presença de professores, médicos, agentes de saúde e técnicos locais poderiam gerar um sentimento maior de confiança da população, proporcionando chances mais efetivas de uma adequada comunicação, entendimento e aceitação.

O potencial de aceitabilidade e sucesso da implantação de sanitários ecológicos, aparentemente, seria bastante promissor na comunidade peri-urbana Vila Tomé, caso fossem analisadas apenas as respostas dos entrevistados, uma vez que 90% responderam estarem de acordo com os conceitos do ecossaneamento, podendo utilizá-los no seu cotidiano. Contudo, o trabalho que foi realizado na comunidade, juntamente com os moradores mostrou uma forte desunião comunitária, enfraquecendo o projeto, suas ações e a consequente desistência de todos em participar das reuniões, bem como na aceitação da tecnologia.

Apesar do otimismo gerado a partir das respostas do questionário, a recusa desta tecnologia não foi uma surpresa, vindo a corroborar com os resultados obtidos por outros pesquisadores, como Duncker; Matsebe (2008), Nawab *et al.* (2006) e Van der Geest (1998).

Os aspectos culturais de uma comunidade ajudam a compreender os motivos que levam à rejeição ou aceitação das propostas do ecossaneamento. Portanto, qualquer intervenção que leve à mudança do cotidiano deve ser precedida de um diagnóstico eficaz quanto aos aspectos socioculturais da localidade e, quando devidamente identificados por equipe competente, estes deverão ser analisados, respeitados e considerados como parte integrante do processo de aceitação da tecnologia mais apropriada às peculiaridades locais.

## **3.2. Caracterização qualitativa da urina**

### **3.2.1. Composição físico-química**

Conforme Lopes (2004), a urina é uma mistura constituída de 96% de água e 4% de diversas substâncias provenientes da alimentação e do metabolismo, como ureia, creatinina, ácido úrico, cálcio, cloretos, fosfato, sulfato, etc.



A caracterização da urina dos moradores da comunidade Vila Tomé indicou de forma geral elevada presença de nitrogênio, fósforo, cloretos, sódio e uma reduzida concentração de metais.

A tabela 3.7 apresenta o resultado da caracterização dos parâmetros físico-químicos referentes às amostras da população dividida por sexo e faixa etária: masculino adulto, feminino adulto, criança e idoso.

Tabela 3.7 - Caracterização físico-química da urina fresca (após dois dias de coleta) da população da comunidade Vila Tomé, dividida por sexo e faixa etária. 2009.

Parâmetro	Análise	Unidade	Homem	Mulher	Criança	Idoso
Físico	cor	uH	521	549	550	541
	Turbidez	uT	189	486	288	520
	Temperatura	°C	27	27,5	27,5	27
Químico	pH		6,7	7,5	7,9	7,8
	Condutividade	mS/cm	19,3	34,7	27,5	30,8
	Amônia	mgNH <sub>3</sub> -N/L	1710,8	3333,3	3421,6	6697,6
	Nitrato	mg/L	7,8	4,4	7,3	4,8
	Nitrito	mg/L	4,5	6,9	0,4	0,3
	NTK	mg/L	9701	5736	5552	8008
	Fósforo	mg/L	562,6	591,3	456,3	517,9
	Ortofosfato	mg/L	502,4	524,0	410,3	492,4
	DQO	mg/L	10420	8162	10246	9205
	Cloreto	mg-Cl/L	10198,4	11520,5	11803,8	12275,9
	Sódio	mg/L	2400,0	2304,0	3000,0	2328,0
	Potássio	mg/L	1416,8	1012,0	1251,2	1343,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

#### *Temperatura:*

A temperatura das amostras após a coleta dos recipientes na comunidade foi de 27°C. Parâmetro este que foi influenciado pelas características climatológicas da região. Pesquisas na Suécia resultaram em valores entre 3 e 19° C. A temperatura possui um papel preponderante sobre a reação de transformação da ureia em amônia e será discutido neste capítulo, mais a frente.

*Cor:*

Houve pouca variação de cor, medida em unidades Hazen, ao comparar as amostras masculinas (521 uH), femininas (549 uH), de crianças (550 uH) e de idosos (541 uH). Esta diferença, ainda que pequena, pode estar relacionada com a ingestão de medicamentos, quantidade de água ingerida e dietas.

*Turbidez:*

A turbidez está relacionada com a presença de bactérias, hemácias, cilindros e cristais ou sais (fosfatos e uratos) (KANTEK GARCIA-NAVARRO, 1996; LOPES, 2004). Segundo Cantarow; Schepartz (1967), em estado normal a urina fresca é cristalina e translúcida. Foram encontrados os seguintes valores de turbidez: 189, 486, 288 e 520uT, respectivamente, para as amostras masculina, feminina, de crianças e de idosos. Estes valores elevados, principalmente, das amostras femininas e de idosos podem ser explicados a partir da possível presença de células epiteliais, hemácias e bactérias, estas últimas confirmadas no exame de urinocultura, conforme tabela 3.9. É importante mencionar que a análise laboratorial foi realizada no final da tarde do segundo dia posterior à distribuição dos recipientes de coleta, e que segundo Cantarow; Schepartz (1967) com o passar do tempo, ocorre a precipitação de fosfatos, que são relativamente insolúveis, contribuindo para o aumento da turbidez. Esta precipitação deve-se ao aumento do pH ocasionado pela hidrólise da ureia (equação 3.2 a 3.4 e figura 3.17).

*pH:*

O pH, quando determinado logo após sua excreção, é bem próximo de 6,0 (LOPES, 2004; CANTAROW; SCHEPARTZ, 1967), possuindo caráter ácido. De forma geral, o pH determinado nesta pesquisa (tabela 3.7) está acima do mencionado em pesquisas anteriores (SOUSA *et al.*, 2008; LIND *et al.*, 2000; BAZZARELLA *et al.*, 2005; ZANCHETA *et al.*, 2007).

Conforme Lopes (2004), o valor do pH tende a aumentar pela ação das bactérias sobre a ureia formando amônia, quando a análise não é feita logo após a micção, ou seja, passadas as primeiras 24 horas. A urease (ureia amidohidrolase) produzida por bactérias como

*Staphylococcus intermedius*, *Proteus sp*, *Klebsiella sp* pode causar a reação de hidrólise (BICHLER *et al.*, 2002).

Camargo *et al.* (2001) afirmam que, para efeito de indicativo de infecção do trato urinário, são consideradas apenas culturas positivas que apresentarem crescimento superior a  $10^5$  UFC.100mL<sup>-1</sup>, entre  $10^4$  e  $10^5$  UFC.100mL<sup>-1</sup>, existe uma suspeita de infecção e abaixo de  $10^4$  UFC.100mL<sup>-1</sup>, possibilidade de indivíduos saudáveis. Mesmo com uma contagem bacteriana inferior a estes limites, sendo a urina um elemento estéril (CAMARGO *et al.*, 2001; HÖGLUND, 2001), a presença de bactérias, independente de sua quantidade, pode alcalinizar a amostra, elevando, desta forma, seu pH.

Os valores de pH acima de 7,0, principalmente das amostras feminina e de idosos endossam a possibilidade da formação e presença de íons de amônia e/ou da presença de micro-organismos (bactérias) causadores de possíveis infecções no trato urinário com concentrações acima de  $10^4$  UFC.100mL<sup>-1</sup>.

O atraso da análise, ultrapassando o período de 24 horas, justificado pela dificuldade de acesso à comunidade e pelo dispêndio de tempo para recolhimento dos recipientes em cada residência foi a principal causa para estes altos valores iniciais de pH.

#### *Condutividade:*

A concentração de sais é um importante parâmetro a ser determinado quando existe a intenção da prática do reúso agrícola. De acordo com Rhoades *et al.* (1992), três aspectos de qualidade de água devem ser analisados previamente à utilização deste recurso na agricultura: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons. Usualmente, a salinidade pode ser determinada a partir da análise da condutividade elétrica ou da concentração de sólidos dissolvidos (EPA, 1992).

Os valores iniciais da condutividade elétrica (19,31; 34,7; 27,5 e 30,8mS.cm<sup>-1</sup>) foram semelhantes aos citados em trabalhos de outros pesquisadores: 14,8 – 25,4mS.cm<sup>-1</sup> (JÖNSSON *et al.*, 2000), 14,4 – 16,4 mS.cm<sup>-1</sup> (BAYKAL *et al.*, 2009), 16,6mS.cm<sup>-1</sup> (ZANCHETA, 2007) e 20 - 35 mS.cm<sup>-1</sup> (SOUSA *et al.*, 2008).

Conforme EPA (1992), salinidade excessiva pode causar sérios danos ao solo e à cultura. Alguns íons específicos, como cloro, sódio e boro são tóxicos. Considerando que cada cultura possui sua capacidade específica resistiva à salinidade, Ayers; Wescot (1991) recomendam um valor-limite de condutividade de apenas 3mS.cm.cm<sup>-1</sup> para a água de irrigação.

### *Sódio:*

A caracterização de íons específicos como sódio e cloreto indica a possibilidade de toxicidade da urina quando aplicada no solo. Na tabela 3.7, verificam-se as altas concentrações de sódio: 2400; 2304; 3000 e 2328mg/L.

Traçando um comparativo com a água de reúso de estações de tratamento de esgoto que utilizam os sistemas de lagoas de estabilização, a urina possui um potencial maior de toxicidade, pois, enquanto a concentração de íons de sódio varia entre 900mg/L e 3200mg/L (DAGERSKOG; BONZI, 2010; KIRCHMANN; PETTERSSON, 1995), na água de reúso (esgoto sanitário tratado), este valor cai para 40 a 90mg/L (MOTA *et al.*, 2007 e METCALF; EDDY, 1991). Contudo, uma das formas mais utilizadas para minimizar essa possível toxicidade, conforme Jönsson *et al.* (2004), seria diluir a urina em proporções que reduzam significativamente a concentração de sódio.

### *Cloretos:*

De acordo com Cantarow; Schepartz (1967), considerando uma dieta saudável, a quantidade de cloretos, em termos de constituintes sólidos, é o segundo maior, sendo inferior apenas à quantidade de ureia presente. De fato, a concentração de cloretos foi significativamente elevada, apresentando em todas as categorias pesquisadas, valores acima de 10.000mg/L, conforme visualizado na tabela 3.7. A concentração média determinada foi de duas a três vezes superior às pesquisas europeias (KIRCHMANN; PETTERSSON, 1995; von MÜNCH; WINKER 2009). A explicação mais provável para tamanha discrepância pode estar amparada na diferença dos hábitos alimentares entre as populações, sugerindo uma ingestão maior de cloretos pelos residentes de Vila Tomé. Outra explicação seria distúrbios endocrinológicos, como insuficiência adrenal crônica (Doença de Addison), porém são casos raros (CANTAROW; SCHEPARTZ, 1967; BRASIL, 2010).

A presença de sais como Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> é uma preocupação quando se pretende utilizar a urina como biofertilizante. Dependendo da concentração, estes compostos são prejudiciais às plantas e ao solo, devendo-se, portanto realizar ações preventivas para minimizar os efeitos maléficos destes sais, tais como proceder com a irrigação, logo após a aplicação da urina.

*Nutrientes:*

O nitrogênio está em sua grande maioria na forma de ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), aproximadamente 85%. Logo após sua excreção, a concentração de amônia é apenas 3% do total do nitrogênio (CANTAROW; SCHEPARTZ, 1967). Entretanto, durante o armazenamento, a ureia é rapidamente convertida em amônia por meio de reações químicas, elevando consideravelmente a concentração desta última. As demais formas do nitrogênio presentes na urina são ácido úrico e creatinina.

Em média a concentração de amônia foi de 3790mg/L, valor sete vezes maior que o encontrado por Ciba-Geigy, 1977 *apud* MAURER *et al.* (2006) e cinco vezes maior que o encontrado por Kirchmann; Pettersson (1995).

No entanto, este valor acima de 3.000mg/L já era esperado, uma vez que o pH também foi elevado, o qual está diretamente relacionado com o processo de conversão da ureia em amônia.

Quanto ao nitrogênio sob as formas de nitrato e nitrito, os valores determinados apresentaram-se, também, muito acima dos encontrados na literatura, com média de 6,0mg/L e 3,0mg/L, respectivamente. Enquanto Kirchmann; Pettersson (1995) e Ciba-Geigy, 1977 *apud* MAURER *et al.* (2006) alcançaram valores na ordem de  $45\mu\text{gNO}_3^-/\text{L}$  e  $20\mu\text{gNO}_2^-/\text{L}$ .

De acordo com Oliveira *et al.* (2010), a presença de nitrito em exames físico-químicos de urina indica a atividade redutora de nitrato por ação de enterobactérias, caracterizando uma possível infecção do trato urinário. Portanto, acredita-se que a presença destes micro-organismos nas amostras, conforme visualizado na tabela 3.9, seja o motivo para as concentrações encontradas de nitrito.

Os valores de nitrogênio total kjeldahl (NTK), que se refere à parcela de nitrogênio na forma reduzida (amônia e nitrogênio orgânico), foram 9701; 5736; 5552 e 8008mg/L. Estes valores, quando somados com a parcela de nitrogênio oxidada, resultam na concentração de nitrogênio total, correspondendo a 9713; 5747; 5559 e 8013mg/L, e uma média de 7258mg/L. Apesar da diferença existente entre as amostras, a média geral se aproxima dos valores das literaturas sobre o assunto.

Segundo Cantarow; Schepartz (1967), o fósforo excretado pelo homem está em sua maioria na forma inorgânica e uma pequena parcela, 4%, na forma orgânica. A concentração média de fósforo foi de 532,0mg/L, apresentando pequenas variações entre as quatro categorias. O fosfato iônico está presente na urina sob duas formas,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ . O valor do pH determina a forma do fosfato iônico presente na urina, podendo interferir,

consideravelmente, nos valores de turbidez por meio da precipitação de fosfatos formados a partir da fermentação amoniacal ( $MgNH_4PO_4$ ), os quais são insolúveis em reações alcalinas (CANTAROW; SCHEPARTZ, 1967). Os valores da concentração de ortofosfato foram: 502,4; 524,0; 410,3 e 492,4mg/L, respectivamente, para as amostras masculinas, femininas, de crianças e de idosos.

O potássio está disponível na forma iônica ( $K^+$ ). O valor médio determinado foi de 1255mg/L, bem próximo ao da literatura especializada (CIBA-GEIGY, 1977 *apud* MAURER *et al.* (2006), KIRCHMANN; PETTERSSON (1995) e von MÜNCH; WINKER, 2009).

Já está documentado que a urina contém a maioria dos nutrientes, porém sua proporção e composição variam significativamente conforme a dieta adotada. É fácil constatar que ao analisar as quatro classes de amostras, houve uma diferença considerável entre as concentrações de nutrientes (tabela 3.7). A concentração de nitrogênio na amostra masculina foi 40,8; 42,8 e 17,5% maior que a concentração das amostras feminina, de crianças e de idosos, respectivamente. Este incremento se mostrou presente ainda para as concentrações de potássio, porém com diferenças menos significativas. Acredita-se que estes valores sejam motivados pelo fato de que a maioria dos homens que participou desta pesquisa trabalha em fábricas e comércios, e recebe alimentação no trabalho, provavelmente, mais nutritiva em termos de proteínas, quando comparada aos de seus familiares, esposas e filhos, que permanecem em casa.

Zancheta (2007), em um estudo semelhante realizado na Universidade Federal do Espírito Santo, observou também diferenças na quantidade de nitrogênio ao comparar os mesmos tipos de amostras, onde, no entanto, a urina feminina foi a de maior concentração. Deve-se levar em consideração que as amostras estudadas eram de uma população de classe média.

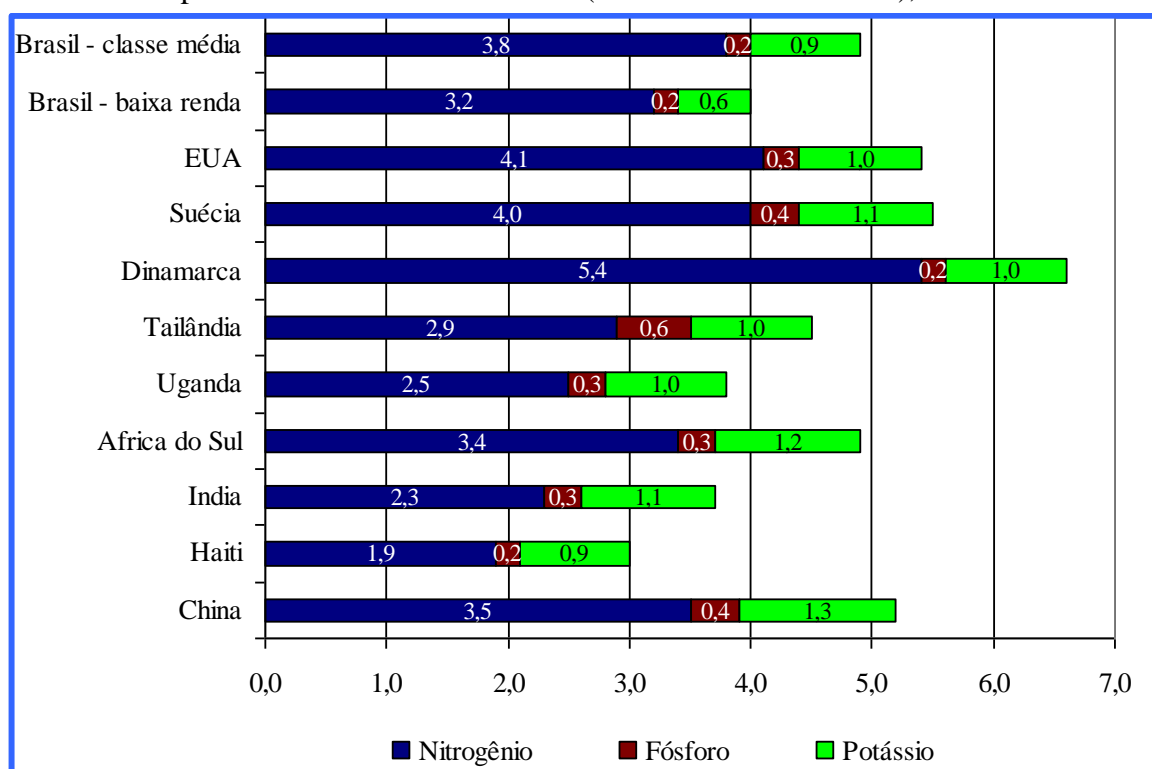
Pode-se sugerir, a partir da análise dos dados da tabela 3.7, que as crianças, por necessitarem de uma maior quantidade de nutrientes, absorvem mais e excretam menos (5560 mgN-total/L; 456mgP-total/L; 1088mgK-total/L) quando comparado com a urina masculina (9613/mgN-total/L; 703mgP-total/L; 1417mgK-total/L) e feminina (5747mgN-total/L; 591 mgP-total/L; 1417mgK-total/L).

De acordo com Jönsson *et al.* (2004), quando o corpo humano está em desenvolvimento, os nutrientes são absorvidos e integrados aos tecidos do corpo. O nitrogênio integrará as proteínas; o fósforo, os ossos e músculos; e o potássio, geralmente os nervos e músculos. Mesmo em um desenvolvimento acelerado de crianças e adolescentes, essa

absorção ou retenção é muito baixa, de aproximadamente, 2%, 6% e 0,6% para N, P e K, isto considerando a pesquisa em adolescentes suecos. Quando o esqueleto e os músculos atingem sua completa formação, os nutrientes não são mais retidos no corpo humano.

A figura 3.16 apresenta a concentração dos principais nutrientes excretados via urina em diferentes países (China, Haiti, Índia, África do Sul e Uganda), os quais foram calculados a partir da quantidade de comida ingerida ou por pesquisas laboratoriais (EUA, Brasil – classe média, Brasil – baixa renda, Suécia, Dinamarca e Tailândia). Verifica-se de forma clara que para os países em desenvolvimento como, por exemplo, no Haiti a concentração de nutrientes é anódina quando comparada com os países desenvolvidos. Enquanto para o nitrogênio excretado pela população dos países desenvolvidos é de 4,5kg/hab.ano, nos países em desenvolvimento este valor é 43% menor, ou seja, 2,6kg/hab.ano.

Figura 3.25 – Concentração de macronutrientes (kg/hab.ano) excretados pela urina humana: comparativo entre os dados desta pesquisa (Brasil – baixa renda) com os dados de outros países\* e de outra classe social (Brasil – classe média\*\*), 2009.



Fonte: \*: Schouw *et al.* (2002); Jensen *et al.* (2008); Jönsson e Vinnerås (2004); Del Porto e Steinfeld (1999); Vinnerås (2001). \*\* Média dos nutrientes: Sousa *et al.* (2008); Bazzarella *et al.* (2005); Rios *et al.* (2007) e Zancheta *et al.* (2007).

Esta mesma disparidade, apesar de ser menos acentuada, pode ainda ser constatada ao examinar os valores de nutrientes excretados pela população de classe média e

pela população de baixa renda no Brasil (comunidade Vila Tomé). O nitrogênio e o potássio excretados pela população de classe média são 16% e 33%, superiores, respectivamente, enquanto o teor de fósforo permaneceu igual. Isto é o reflexo direto da quantidade e da qualidade nutricional da comida ingerida.

Além de quantidades deficitárias de nutrientes pela população dos países em desenvolvimento, devido à sua precária situação socioeconômica; países como a Índia apresentam uma baixa concentração de nitrogênio, onde questões culturais e de hábitos alimentares se sobressaem aos aspectos econômicos, pois a predominância de vegetarianos em sua população é considerável.

#### *DQO:*

A urina humana possui uma DQO elevada, apresentando os seguintes valores: 10,4g/L para a amostra masculina, 8,2 g/L para a feminina, 10,2g/L para a das crianças e 9,2g/L para a dos idosos. Estes valores estão compatíveis com os encontrados por Tettenborn; Behrendt; Otterpohl (2007); von Münch; Winker (2009); Bazzarella *et al.* (2005); Zancheta (2007), os quais variaram entre 6 e 10g/L. Ainda segundo Tettenborn; Behrendt; Otterpohl (2007), apesar de a urina apresentar uma elevada concentração de DQO, 85% desta é facilmente biodegradável. Os componentes orgânicos mais expressivos são ácidos, creatinina, aminoácidos, carboidratos e ureia (CANTAROW; SCHEPARTZ; 1967).

#### *Metais Pesados:*

As concentrações de metais pesados foram muito baixas para todas as amostras. Foi encontrado entre 0,03 e 0,04 mg/L de cromo, entre 0,01 e 0,02 mg/L de cobre e entre 0,01 e 0,04 mg/L de cobalto. As concentrações de manganês, cádmio, chumbo e zinco ficaram abaixo do limite detectável pelo método de absorção atômica. Valores similares também foram encontrados por Jönsson (2001), em que as concentrações de cádmio e chumbo, foram respectivamente, 0,001 e 0,027 mg/L, também definidos pelo autor como abaixo dos limites detectáveis.

Diversos autores já mencionaram os baixos valores de metais pesados presentes na urina humana (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006; MEINZINGER; OLDENBURG, 2008). Vinnerås (2002) aponta que a quantidade de metais na urina é bem inferior às fezes e às águas



cinza. Do total ingerido, geralmente menos de 10% são excretados pela urina, como exemplo, Cu e Ni 3%, Zn 5%, e Pb 7% (LENTNER *et al.*, 1981).

A quantidade de metais é motivada pela qualidade da comida ingerida, no que se refere à presença destes elementos. Quando a mesma é considerada satisfatória, o qual ocorre na maioria dos casos, resulta em uma excreção com quantidade ainda menor do que aquela que foi ingerida (VINNERÅS; JÖNSSON, 2002). Já os fertilizantes comerciais produzidos a partir de uma energia fóssil excessiva, podem em alguns casos apresentar contaminação significativa por cádmio ou elementos radioativos, como o urânio (HODGE e POPOVICI, 1994 *apud* LIND *et al.*, 2000).

Conforme tabela 3.8, a urina possui uma concentração de metais consideravelmente inferior a outros compostos, como lodo de ETA, lodo de ETE, esterco suíno, esterco de aves e fertilizante fosfatado. Jönsson *et al.* (1997) em uma pesquisa na Suécia, encontraram menos de 3,2 mg de cádmio (Cd) por kg de fósforo (P) na urina, comparados a 26 mg Cd/kg P nos fertilizantes comerciais e 55 mg Cd/kg P no lodo de esgoto.

Tabela 3.8 - Concentração média de metais pesados (mg/L) na urina humana da população de Vila Tomé (Ceará) em comparação com lodo de ETA e ETE, adubos químico e orgânico. 2009.

Elemento	Lodo de ETA*	Lodo de esgoto*	Esterco suíno*	Esterco de aves*	Fertilizante fosfatado*	Urina (Dados próprios)
Hg	--	2,49	--	--	--	0,073
Cd	1,5	<3	--	3	0,1-170	0,02
Cu	134	222,09	463	748	1-300	0,03
Ni	55	37,79	--	15	7-38	0,140
Pb	88	133,56	--	11	7-225	nd
Zn	308	706,32	1130	718	50-1450	0,120
Cr	--	222,1	--	--	66-245	0,010

Fonte: \*Andreoli (2006) e dados próprios (2013)

Com estas baixas concentrações de metais, o saneamento focado em recursos contribui para a proteção da saúde humana ao fornecer um ambiente mais saudável para práticas sustentáveis de cultivo agrícola.

### 3.2.2. Composição microbiológica

As análises microbiológicas estão mostradas na tabela 3.9, em que se verifica uma elevada e inesperada contaminação microbiológica, acima de  $10^8$  coliformes termotolerantes

por 100mL da amostra e diversas outras espécies de bactérias, como *streptococcus* sp, *enterococcus* sp, *staphylococcus* sp, *klebsiella pneumoniae* e proteus. Apesar desta contaminação, a presença de alguns micro-organismos específicos pode ter contribuído para uma higienização mais rápida, conforme discutido no item 3.3 – armazenamento e higienização da urina.

Tabela 3.9 - Caracterização microbiológica da urina fresca (após dois dias de coleta) da população da comunidade Vila Tomé, dividida por sexo e faixa etária. 2009.

Parâmetro	Análise	Unidade	Homem	Mulher	Criança	Idoso
Microbiológico	Coli. termotolerante	NMP/100mL	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>10</sup>
	Streptococcus sp	UFC/100mL	2,80E+07	9,00E+06	-	-
	Enterococcus sp	UFC/100mL	-	-	-	2,90E+07
	Staphylococcus sp	UFC/100mL	3,00E+06	-	-	5,60E+07
	Klebsiella pneumoniae	UFC/100mL	-	2,07E+08	-	
	Proteus	UFC/100mL	-	-	2,90E+07	9,00E+06
	Enterobacter	UFC/100mL	8,00E+06	3,00E+06	9,40E+07	3,20E+07

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Na revisão realizada por Karak; Bhattacharyya (2011), foram levantados mais de 20 tipos de patógenos presentes na urina, pesquisados em 17 artigos técnicos, os quais são: *Ancylostoma*, *Ascaris*, *Ascaris ova*, *Campylobacter jejuni*, *Cryptosporidium oocysts*, *Cryptosporidium parvum*, *Ent. hystolica*, *Ent. vírus*, Enterococci, *Leptospira interrogans*, *Escherichia coli*, *Mycobacterium tuberculosis*, Rotavirus, *Salmonella*, *Salmonella entérica*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, *Salmonella typhimurium*, *Schistosoma*, *Schistosoma eggs*, *Shistosoma haematobium*, *Schistosoma mansoni*, *Shigella*, *Taenia*.

A elevada contaminação por coliformes termotolerantes e outras bactérias entéricas em todas as amostras pode ser explicada pela contaminação fecal cruzada. Falta de higiene e precárias condições sanitárias dos domicílios são provavelmente os principais motivos que levaram a contaminação.

Não existe uma referência padrão para a concentração de micro-organismos na urina, uma vez que a mesma é considerada estéril. Porém, resultados similares com elevada contaminação foram obtidos por Adamsson *et al.* (2003), em que estes autores encontraram

nos tanques de armazenamento de urina na Suécia, concentrações de bactérias heterotróficas acima de  $3,0 \times 10^8$  UFC/100mL e de  $1,6 \times 10^6$  UFC de coliformes por 100 mL de urina.

### 3.3. Armazenamento e higienização da urina humana

Conforme já mencionado anteriormente, mais de 80% do nitrogênio está na forma orgânica, ureia,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Quando a urina é armazenada e estocada, a ureia é quimicamente hidrolisada e biologicamente degradada. Esta hidrólise é catalisada pela enzima urease, uma enzima presente em diversos micro-organismos. Durante a hidrólise, o pH se eleva e ocorre a formação de íons bicarbonatos e a conversão da ureia em amônia (reação 3.16) (ALEXANDER, 1977 *apud* HELLSTROM *et al*, 1999).



O íon amônio está em equilíbrio com a amônia dissolvida, reação 3.17.



Em condições favoráveis, a amônia dissolvida se encontra em equilíbrio com o gás amônia (pKa de equilíbrio 9,3 a 25°C).



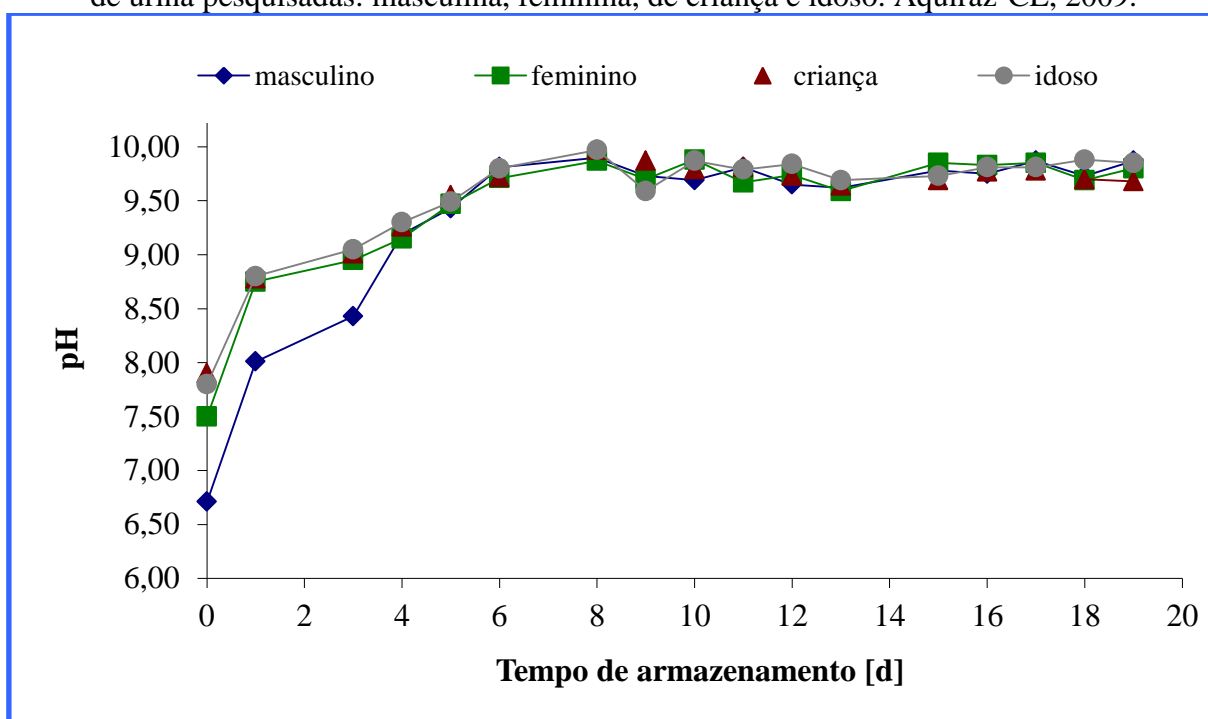
A decomposição da ureia é a responsável pelo aumento da concentração de amônia e do pH. O íon amônio está diretamente disponível para a biota, que é um componente do ciclo do nitrogênio (LIND *et al.*, 2001).

De acordo com Murray *et al.* (1998), a urina é um excelente meio de cultura para a maioria dos micro-organismos que infetam o trato urinário e o crescimento bacteriano pode ocorrer na urina “in natura”. A presença de bactérias como *Staphylococcus intermedius*, *Proteus sp*, *Klebsiella sp* é um forte indício de uma possível elevada produção de urease.

pH:

Os valores de pH apresentaram um rápido crescimento em um curto intervalo de tempo sob valores de temperatura entre 27 e 30°C. No quarto dia após a coleta, o pH estava acima de 9,0, indicando uma rápida hidrólise e conversão da ureia. Como visualizado na figura 3.26, após o quinto dia em diante o pH se estabilizou no patamar de 9,7, oscilando 0,2 pra mais ou pra menos. Valores estes semelhantes aos de Ciba-Geigy, 1977 *apud* MAURER *et al.* (2006); Höglund *et al.*, (1999) e Jönsson *et al.* (2000). Não foi possível verificar diferenças marcantes no comportamento do pH entre as amostras.

Figura 3.26 – Variação dos valores de pH ao longo do tempo de armazenamento das amostras de urina pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

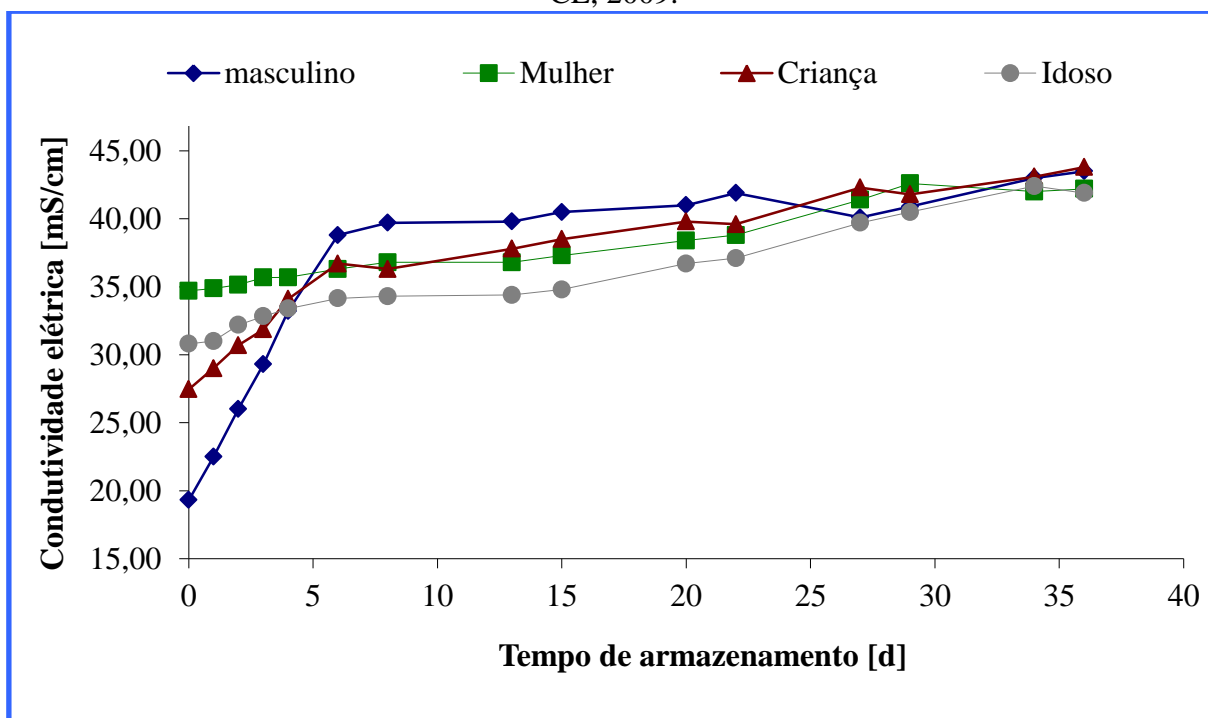
O aumento do pH favorece a precipitação da estruvita, ( $MgNH_4PO_4$ ) e de cristais de fosfato de cálcio ( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ). Estes cristais podem formar incrustações em tubulações e nos materiais utilizados para o armazenamento da urina (von MÜNCH; WINKER, 2009).

#### Condutividade Elétrica:

A condutividade média foi de 28,06mS/cm, valor este bem próximo ao encontrado por Ronteltap *et al.* (2010) de 36mS/cm a 20,7°C; Etter *et al.* (2011) de 22,6mS/cm a 25° C; Sousa *et al.* (2008) de 27mS/cm e Rios *et al.* (2007) de 20,0mS/cm a 28°C.

Nos cinco primeiros dias de armazenamento, a condutividade aumentou mais de 70%, se aproximando do patamar de estabilização. Ao final de 36 dias, o acréscimo da condutividade atingiu 125%, com valores de 42 a 43mS/cm (figura 3.27).

Figura 3.27– Variação dos valores de condutividade elétrica (mS/cm) ao longo do tempo de armazenamento das amostras pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009.



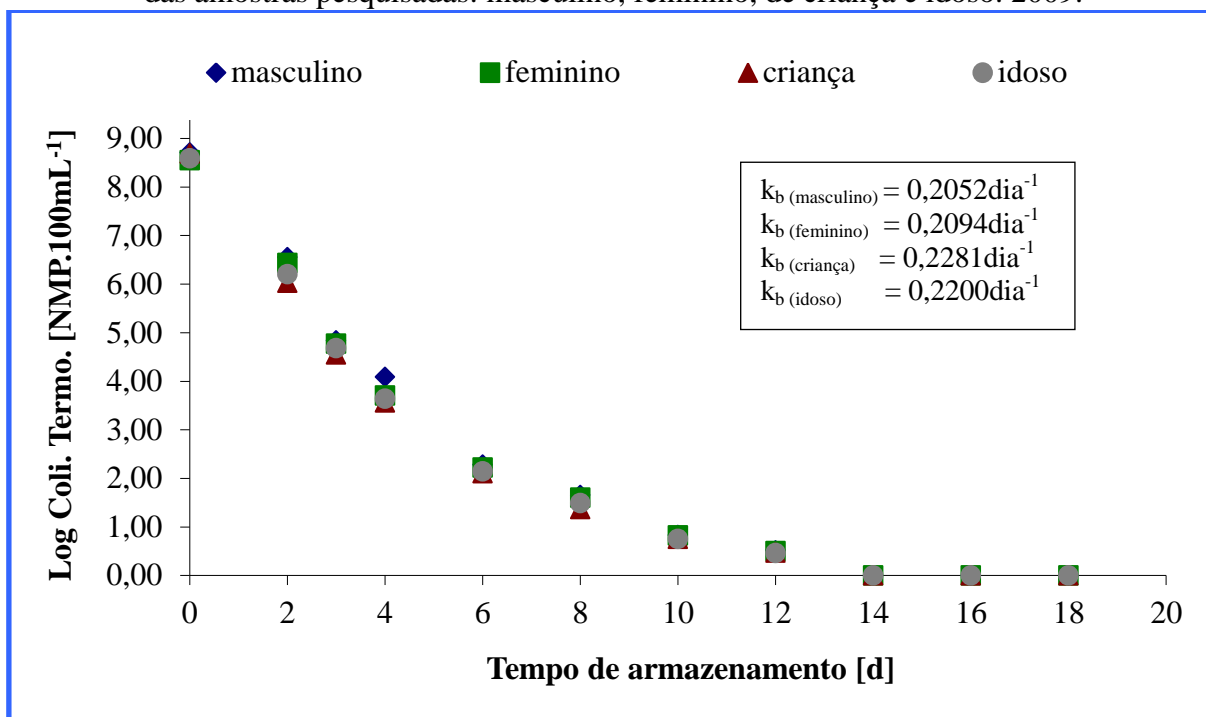
Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Com vistas ao uso agrícola, esta elevada condutividade indica um alto potencial de salinização do solo, fazendo com que se deva avaliar tal efeito em termos de médio e longo prazo.

#### Patógenos:

Ao analisar a cinética do decaimento de coliformes termotolerantes, verificou-se que as taxas de decaimento ( $k_b$ ) em dias<sup>-1</sup> obtidas a partir da reação de primeira ordem foram iguais a 0,1972; 0,1973; 0,2052; 0,2007, respectivamente, para a urina masculina, feminina, de criança e de idoso (figura 3.28). Apesar da diferença muito pequena entre os coeficientes, acredita-se que a presença de *Proteus sp* e *Klebsiella sp* nas amostras de crianças e idosos em concentrações acima de 10<sup>5</sup> UFC/mL tenham contribuído para elevar a taxa de decaimento, proporcionando um menor tempo de inativação para essas amostras.

Figura 3.28– Curva de decaimento bacteriano, utilizando como indicador coliformes termotolerantes (NMP/100mL), em termos logarítmico, ao longo do tempo de armazenamento das amostras pesquisadas: masculino, feminino, de criança e idoso. 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O tempo para inativação de 90% em todas as quatro amostras foi menor do que 1 dia, considerando as condições de armazenamento adotadas ( $T_{90} < 1$  dia, para pH de 8,5 e temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$ ). Ao final de 14 dias, verificou-se a inativação total de coliforme termotolerante. Apesar dos resultados satisfatórios obtidos na higienização a partir deste indicador, Höglund (2001) salienta que bactérias não devem servir de único parâmetro microbiológico como estabelecido pela maioria das normas e legislações existentes. A autora afirma, ainda, que indicadores bacterianos não são apropriados devido à sua rápida inativação. Enquanto o tempo para inativação de 90% das principais bactérias entéricas (bactérias gram-negativas) foi menor que 1 dia ( $T_{90} < 1$  dia) a  $20^{\circ}\text{C}$  e menor que 5 dias ( $T_{90} < 5$  dias) a  $4^{\circ}\text{C}$ , este tempo foi de 29 dias para cistos de *Cryptosporidium* a  $4^{\circ}\text{C}$  e estimado em 5 dias a  $20^{\circ}\text{C}$ . Já os vírus foram os micro-organismos mais persistentes, apresentando valores de  $T_{90}$  entre 35 a 71 dias, respectivamente para rotavírus e bacteriófagos (HÖGLUND, 2001).

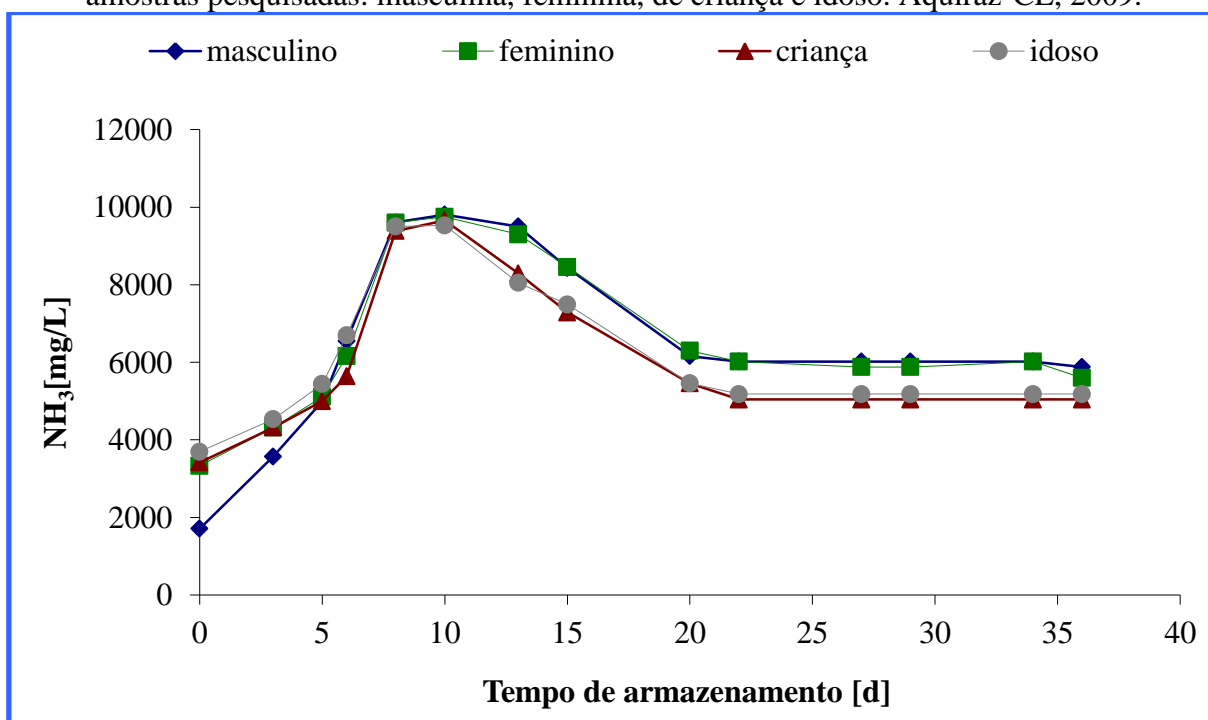
Em condições de temperatura elevada dos países tropicais, o tempo de inativação para vírus e protozoários poderá ser bem menor que o encontrado por Höglund (2001). Visando ao uso na agricultura, soma-se a isto o fato de que, certamente ocorrerá outra etapa de inativação de patógenos, após a aplicação deste fertilizante no solo.

### Nitrogênio:

Pela figura 3.29, entre o oitavo e o décimo dia de armazenamento, a concentração de amônia atingiu seu pico, com valor médio de 9526 mg/L. Este incremento vem acompanhado da formação de bicarbonato, tornando o pH básico (equação 3.16). Em valores elevados de pH, há a predominância de amônia na forma gasosa, o que facilita sua volatilização. Outro fenômeno ocasionado pelo aumento do pH é a formação de estruvita, quando o magnésio reage com o fosfato e a amônia, conforme equação 3.19, e logo em seguida, ocorre sua precipitação.



Figura 3.29 – Concentração de amônia  $NH_3$  ao longo do tempo de armazenamento das amostras pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Devido à precipitação do fosfato de amônia em pH acima de 8,0 e à volatilização da amônia na forma gasosa, a partir do décimo dia de armazenamento iniciou o declínio da concentração de amônia a uma taxa média de  $363,61 \text{ dia}^{-1}$ , até o vigésimo dia quando ocorreu o equilíbrio e sua estabilização na concentração média de 5530 mg/L, valor este bem próximo ao encontrado por outros autores, como Zancheta (2007), em torno de 5000mg/L e Udert *et al.* (2003) com valor de 5810mg/L.

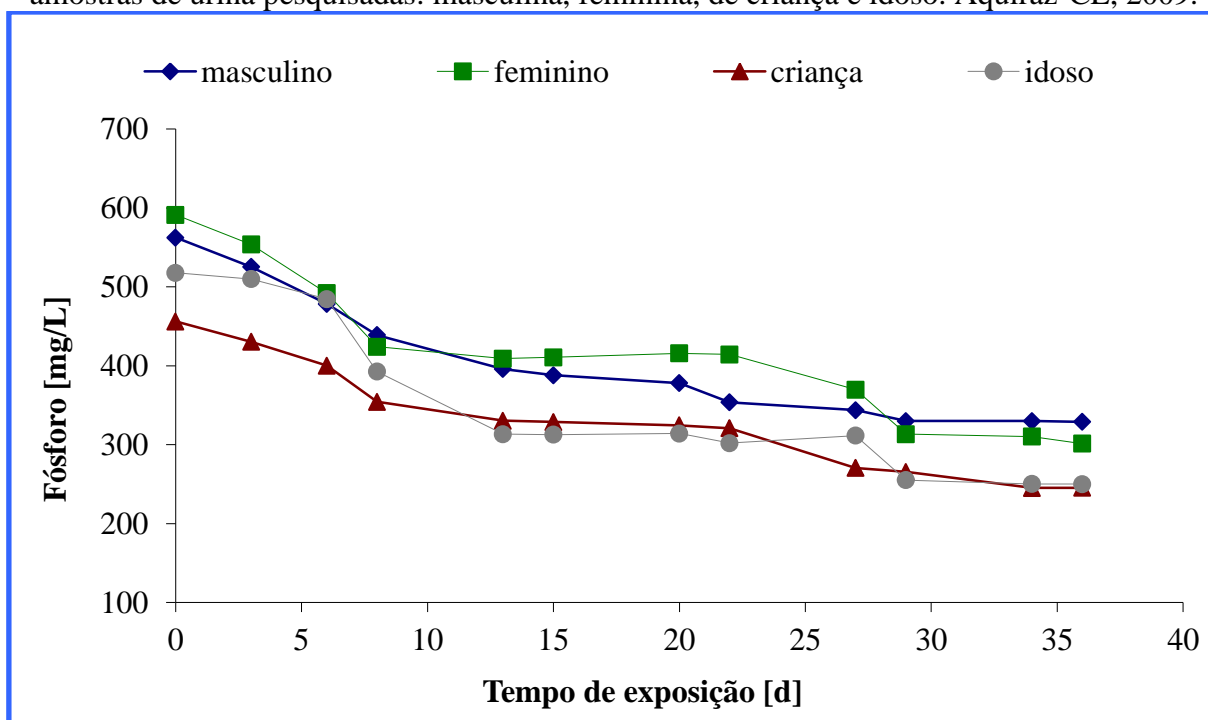
Não foram verificadas diferenças no comportamento da concentração de amônia com o tempo, entre as quatro amostras pesquisadas. Contudo, para as amostras de idosos e crianças, a concentração foi estabilizada em patamares inferiores, na ordem de 4500mg/L, tendo como provável causa uma maior volatilização durante o procedimento de coleta nas bombonas para realização das análises.

#### *Fósforo:*

O fósforo, ao final dos 36 dias de estocagem, reduziu-se, em média, 48%, a uma taxa de  $7,02 \text{ dia}^{-1}$ , apresentando o valor final de 275mg/L (figura 3.30). A redução do fósforo pode ser explicada devido a sua precipitação na forma de ortofosfato em pH alcalino.

O maior decaimento do fósforo foi verificado na primeira semana (figura 3.30), devido à precipitação da estruvita. Além deste fenômeno, a formação de cristais de hidroxiapatita nos primeiros dias em pH mais baixos também contribuiu para a precipitação do fósforo.

Figura 3.30 – Concentração de fósforo (mg/L) ao longo do tempo de armazenamento das amostras de urina pesquisadas: masculina, feminina, de criança e idoso. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Autor (2013)



O ortofosfato, forma predominante de fósforo na urina, seguiu uma conformação de decaimento semelhante ao verificado no fósforo total. Sua taxa de decaimento foi bem próxima ao do fósforo, ou seja,  $6,97\text{dia}^{-1}$ .

### 3.4. Estudo da concepção do concentrador solar parabólico

Otimizando as equações descritas por Petela (2005) por meio da ferramenta computacional solver do Microsoft Excel®, foram geradas as seguintes planilhas, mostradas nas tabelas 3.10 e 3.11, com os resultados finais das quantidades de energia (dados de saída - outputs) a partir da variação dos dados de entrada (inputs), coordenadas definidoras de forma e tamanho ( $x_2$ ,  $y_2$ ) e diâmetro interno do tubo receptor de urina (D). A distância “Ld”, apresentada na figura 3.12, apresenta maior eficiência energética quando o centro do tubo receptor de urina se encontra no foco da parábola, definida pela equação 3.20:

$$L_d = \frac{x_2^2}{4y_2} \quad (3.20)$$

Tabela 3.10 - Resultado das iterações de 1 a 5 do *solver* apresentados como dados de saída (outputs).

Inputs	Uni	iteração 1	iteração 2	iteração 3	iteração 4	iteração 5
x2	m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
y2	m	0,8	0,6	0,4	0,3	0,25
Ld	m	0,078	0,1	0,16	0,21	0,25
D	m	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Output	Uni	iteração 1	iteração 2	iteração 3	iteração 4	iteração 5
Q1	W	-738,296	-679,248	-643,658	-645,725	-681,662
Q2	W	-231,795	-184,917	-146,410	-131,561	-128,905
Q2c	W	-228,927	-182,631	-144,600	-129,935	-127,312
Q2r	W	-2,868	-2,287	-1,810	-1,626	-1,594
Q_3	W	-506,501	-494,330	-497,249	-514,164	-552,756
Q3u	W	-119,460	-115,404	-116,376	-122,013	-134,875
Q3c	W	-387,042	-378,927	-380,873	-392,150	-417,882
T2	K	303,497	303,393	303,307	303,286	303,342
T3	K	350,430	349,396	349,644	351,080	354,356
$\eta$	%	3,765	3,637	3,668	3,846	4,251

Fonte: AUTOR, 2013.

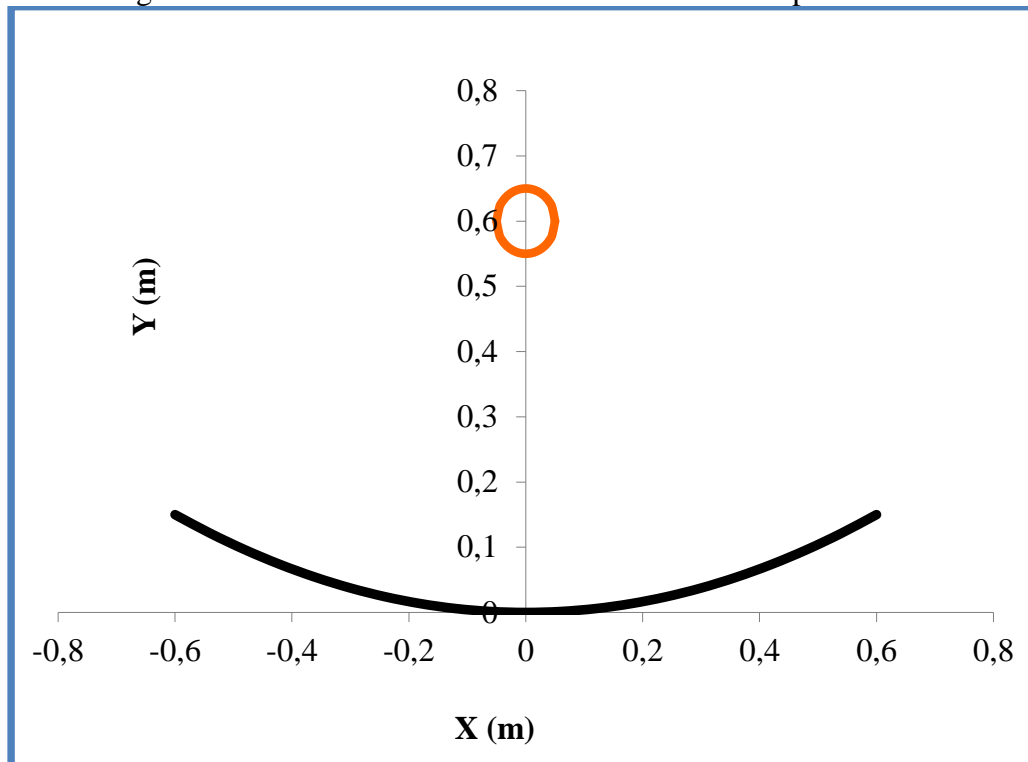
Tabela 3.11 - Resultado das iterações de 6 a 10 do *solver* apresentados como dados de saída (outputs).

Inputs	Uni	iteração 6	iteração 7	iteração 8	iteração 9	iteração 10
x2	m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
y2	m	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15
Ld	m	0,18	0,225	0,3	0,45	0,6
D	m	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Output	Uni	iteração 6	iteração 7	iteração 8	iteração 9	iteração 10
Q1	W	-670,290	-656,123	-666,595	-702,069	-732,910
Q2	W	-182,049	-164,278	-151,390	-142,362	-139,812
Q2c	W	-179,798	-162,248	-149,519	-140,602	-138,083
Q2r	W	-2,251	-2,031	-1,871	-1,760	-1,728
Q_3	W	-488,241	-491,845	-515,205	-559,707	-593,098
Q3u	W	-113,374	-114,575	-122,360	-137,191	-148,319
Q3c	W	-374,867	-377,269	-392,845	-422,516	-444,779
T2	K	303,349	303,303	303,295	303,314	303,339
T3	K	348,879	349,185	351,169	354,946	357,781
$\eta$	%	2,978	3,009	3,214	3,603	3,896

Fonte: AUTOR, 2013.

Variando a coordenada ( $x_2$ ,  $y_2$ ), foi verificado que quando  $x_2 = 0,5$  e  $y_2 = 0,25$  (iteração 5) é maior a eficiência energética do sistema ( $\eta = 4,251$ ). Contudo, a coordenada  $x_2 = 0,6$  e  $y_2 = 0,15$  (iteração 10) apresentou a maior transferência de energia para a massa líquida ( $Q_{3u} = 148,32W$ ). Devido a essa maior transferência de energia, sendo transformada em calor e, portanto, elevando a temperatura da urina de forma mais rápida. Destarte, foi escolhida uma parábola com forma e tamanho apresentada na Figura 3.31 ( $x_2 = 0,6$  e  $y_2 = 0,15$ ).

Figura 3.31 - Perfil do modelo do concentrador solar parabólico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Todos os dados de entrada (inputs) e saída (outputs) referentes à forma da parábola escolhida como ótima ( $x_2 = 0,6$  e  $y_2 = 0,15$ ) estão apresentados na tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Dados de entrada e saída referentes à parábola escolhida pelo processo iterativo ( $x_2 = 0,6$  e  $y_2 = 0,15$ ).

<b>Input</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
$x_2$	m	0,60
$y_2$	m	0,15
$L_d$	m	0,60
$D$	m	0,10
$h_2$	W/m <sup>2</sup> K	12,50
$k_3$	W/m <sup>2</sup> K	200,00
$h_3$	W/m <sup>2</sup> K	12,50
$T_0$	K	301,15
$T_w$	K	320,00
$e_2$	-	0,05
$e_3$	-	0,90
<b>Outputs</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
$\phi_{11}$	-	0,00
$\phi_{12}$	-	0,82
$\phi_{13}$	-	0,18
$\phi_{21}$	-	0,78
$\phi_{22}$	-	0,11
$\phi_{23}$	-	0,11
$\phi_{31}$	-	0,58
$\phi_{32}$	-	0,42
$\phi_{33}$	-	0,00
$A_1$	m <sup>2</sup>	2,40
$A_2$	m <sup>2</sup>	2,52
$A_3$	m <sup>2</sup>	0,63
-Q1	W	732,91
-Q2c	W	138,08
-Q2r	W	1,73
-Q3u	W	148,32
-Q3c	W	444,78
$T_3$	K	357,78
$T_2$	K	303,34
$E_2$	W	60,52
$E_3$	W	525,10
$J_1$	W	3807,35
$J_2$	W	5332,71
$J_3$	W	649,35
$\eta$	%	3,90

Fonte: AUTOR, 2013.

### 3.4.1. Testes preliminares

#### 3.4.1.1. Acidificação da urina

Foi adicionada quantidade suficiente de ácido sulfúrico concentrado para que o pH da urina ficasse abaixo de 3,0. Este valor foi adotado considerando os resultados obtidos por Hellström *et al.* (1999). Foram necessários 12,2mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para cada litro de urina. A tabela 3.13 apresenta a caracterização da urina antes e após a adição do ácido.

Tabela 3.13 – Características da urina antes e após a adição do ácido sulfúrico.

Parâmetro	Unidade	Antes	Depois
pH		9,5	3,0
Temperatura	°C	29,2	30,8
Condutividade	mS/cm	40,1	50,3
Sólidos dissolvidos totais	ppt	20,1	25,2
Potencial Redox	mV	-474,1	-76,3

Fonte: AUTOR, 2013.

Com a adição do ácido e a consequente liberação de íons H<sup>+</sup> na massa líquido, o pH da urina caiu para 3,0, a condutividade e a concentração de sólidos dissolvidos totais aumentou em 20,3%, devido, principalmente a conversão do NH<sub>3</sub> em NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Já o potencial de oxi-redução, que antes da acidificação era -471,1, passou para -76,3ORP.

#### 3.4.1.2. Ensaio com o protótipo

##### a) Tubo de 100 mm

O primeiro ensaio foi realizado com a tubulação de 100 mm e deu início às 10:00 horas da manhã. As características climatológicas no dia do ensaio estão apresentadas na tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Características climatológicas do dia de ensaio, (temperatura do ar; umidade relativa; velocidade do vento; radiação solar e precipitação).

Hora	Temp. do ar (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m/s)		Radiação solar (W.m <sup>-2</sup> )		Precip. (mm)
	med	max	med	max	med	max	med	max	
10:00	31,9	32,4	62,5	65,6	3,3	6,7	681,6	1062,0	0
11:00	32,3	33,5	59,1	63,6	3,4	6,5	762,0	1106,0	0
12:00	32,5	33,2	58,9	63,2	3,8	6,7	849,0	1088,0	0
13:00	32,5	33,2	58,3	62,9	3,9	6,5	789,0	990,0	0
14:00	32,5	33,6	62,9	62,9	3,7	7,5	702,0	897,0	0
15:00	32,2	32,7	62,8	63,8	3,6	6,9	530,8	680,4	0
16:00	31,1	32,0	64,8	65,8	3,7	7,3	238,5	503,6	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O início do experimento só foi possível após as 10h00min, pois o sistema de rotação do protótipo não permitia inclinar a superfície refletora (parábola) a ângulos maiores do que 135°. Mesmo com baixos valores de radiação solar antes das 10h00min, este equívoco cometido na construção do disco de rotação prejudicou a eficiência do sistema. De acordo com Thomas (1996), os coletores devem possuir um alcance rotacional de horizonte a horizonte, e um acréscimo de 45° a fim de evitar acúmulo de particulados sólidos na superfície refletora. Portanto, é extremamente necessário que o concentrador possua um alcance angular de 225°.

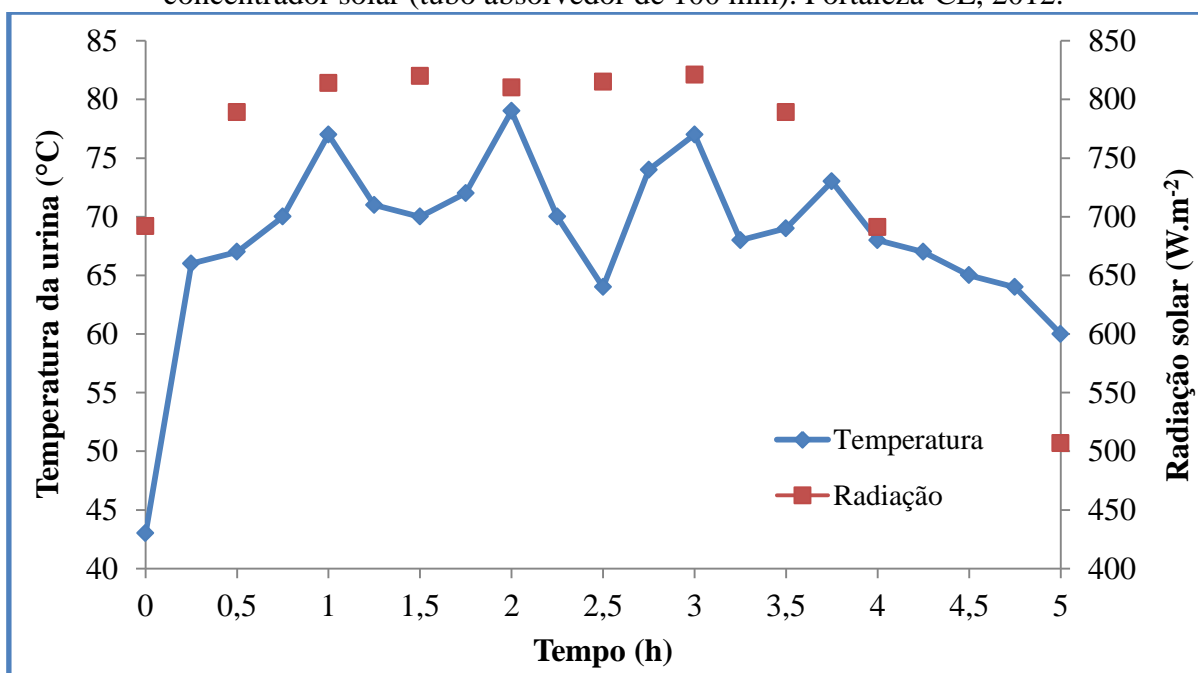
A temperatura da urina dentro do tubo absorvedor no início do experimento, ou seja, em  $t_0$ , foi igual a 43°C, motivada pela radiação solar incidindo diretamente no tubo. Após 15 minutos de experimento, a temperatura subiu para 66°C, um incremento de 35%, ou 1,5°C.min<sup>-1</sup>.

Durante todo o ensaio a temperatura do ar oscilou entre 31 e 34°C e após os 30 minutos iniciais, a temperatura da massa líquida dentro do tubo variou entre 60 e 79°C, conforme figuras 6.12 e 6.13. As possíveis razões que justificam as baixas temperaturas alcançadas, apesar dos elevados valores de radiação solar, médias horárias de 506,7 a 821 W.m<sup>-2</sup> e máximas horárias de 635,6 a 1057 W.m<sup>-2</sup>, são: (1) grande superfície de contato do tubo de cobre de 100 mm com o ar, ocasionando a perda de calor por convecção, com os fortes ventos presentes; (2) redução da área refletora, a partir do sombreamento causado pelo tubo; (3) baixa precisão no posicionamento do foco no centro do tubo, gerado pelo peso da

superfície refletora e pela dificuldade em posicionar (rotacionar), manualmente, o sistema; (4) perda de pressão pelas frestas entre as partes integrantes do sistema (equipamentos de medição, conexões); (5) ausência de válvulas de controle de fluxo, a poucos centímetros, da entrada e da saída do tubo absorvedor; (6) perdas ópticas devido à presença, nas bordas da superfície refletora, de ondulações e deformações impostas pelo próprio processo de fabricação.

Pela figura 3.32, observa-se que quanto maior a quantidade de radiação solar média, maior é a temperatura da urina dentro do tubo absorvedor, ou seja, a energia solar foi concentrada no foco da parábola, elevando a temperatura deste e conseqüentemente da massa líquida. Porém, em alguns pontos, como nos tempos 1,5 e 2,5, mesmo com a alta intensidade de radiação, a temperatura caiu, ficando abaixo de 70°C.

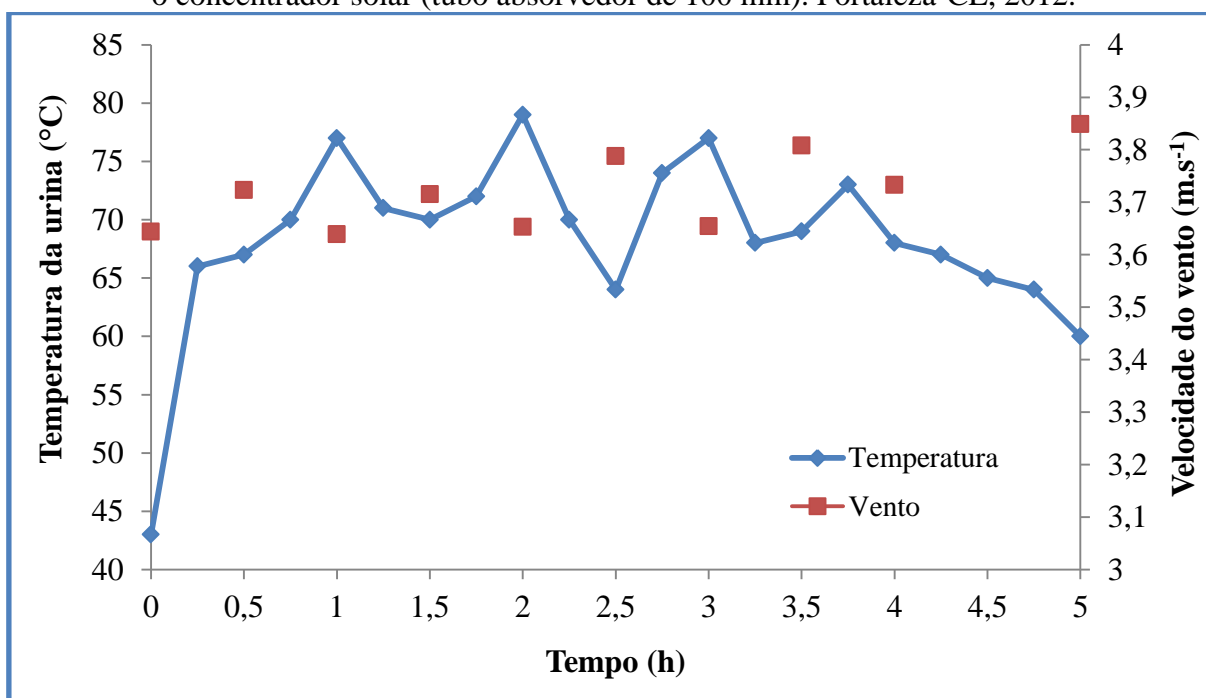
Figura 3.32 – Temperatura da urina e radiação solar em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 100 mm). Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: AUTOR, 2013.

Por outro lado, plotando os dados de velocidade do ar e temperatura da massa líquida por tempo de ensaio (figura 3.33), verifica-se que estes valores são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a velocidade do vento, menor foi o valor da temperatura, causado pelo resfriamento da parede do tubo. Por exemplo, no tempo 2,5, a velocidade média do vento igual a  $3,79 \text{ m.s}^{-1}$  (velocidade máxima horária de  $7,88 \text{ m.s}^{-1}$ ) reduziu a temperatura da urina para 64°C.

Figura 3.33 – Temperatura da urina e velocidade do vento em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 100 mm). Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: AUTOR, 2013.

Portanto, para as condições do experimento realizado, além da intensidade de radiação solar, a velocidade do vento foi uma variável que afetou diretamente a temperatura final dentro do tubo absorvedor.

Após 5 horas de ensaio, o tubo foi desacoplado do sistema para verificação dos resultados. Levando em consideração os equívocos cometidos supracitados, os resultados de concentração dos nutrientes não foram satisfatórios, uma vez que não houve redução da massa líquida de forma significativa para a vazão testada de  $5 \text{ L.h}^{-1}$ . Apesar das condições adversas, observa-se, na figura 3.34, a formação de uma película de sólidos na parede interna do tubo.



Figura 3.34 –Tubo absorvedor de 100 mm aberto após o experimento. Detalhe da existência de material particulado na parede interna do tubo. Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: AUTOR, 2013.

*b) Tubo de 22 mm*

O segundo ensaio foi realizado com a tubulação de 22 mm (figura 3.35) e, também, deu início às 10h00min da manhã. As características climatológicas no dia do ensaio estão apresentadas na tabela 3.15.

Tabela 3.15 – Características climatológicas do dia de ensaio, 21 dez. 2012. (temperatura do ar; umidade relativa; velocidade do vento; radiação solar e precipitação).

Hora	Temp. do ar (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m/s)		Radiação solar (W/m <sup>2</sup> )		Precip. (mm)
	med	max	med	max	med	max	med	max	
10:00	31,9	32,5	57,8	63,1	3,6	8,0	692,0	940,0	0
11:00	32,5	33,6	58,4	59,4	3,8	7,5	814,0	1030,0	0
12:00	32,5	33,5	60,6	62,1	3,7	7,3	780,0	1057,0	0
13:00	32,9	33,7	57,8	61,9	3,8	9,1	821,0	959,0	0
14:00	32,9	33,7	58,2	58,3	3,7	7,5	691,1	867,0	0
15:00	32,3	33,0	57,9	59,9	3,8	8,5	506,7	635,6	0
16:00	31,9	32,7	59,9	61,9	3,2	5,8	275,3	419,3	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Figura 3.35 –Concentrador solar com o tubo de 22 mm. Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: AUTOR, 2013.

Diferentemente do primeiro ensaio, a temperatura da urina dentro do tubo no início do experimento foi igual a  $65^{\circ}\text{C}$ , ou seja,  $22^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura inicial utilizando o tubo de 100 mm. Contudo, semelhantemente ao primeiro ensaio, após 15 minutos de experimento, a temperatura subiu para  $97^{\circ}\text{C}$ , um incremento de 33%, ou  $1,46^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$

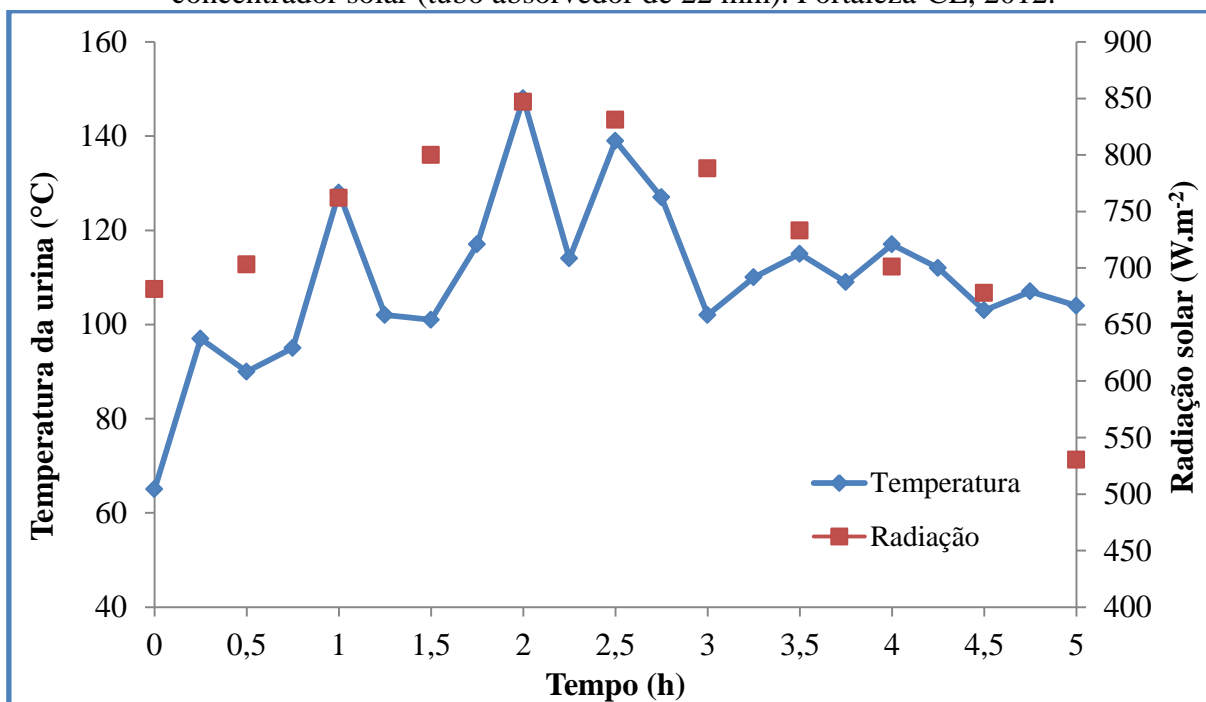
Foram observados comportamentos similares dos valores de temperatura da massa líquida em função da intensidade de radiação solar e velocidade do vento (figuras 3.36 e 3.37). Entretanto, mesmo com condições climatológicas análogas ao primeiro ensaio, a temperatura da urina, utilizando o tubo de 22 mm, foi consideravelmente superior ao de 100 mm, com médias de  $108^{\circ}\text{C}$ , e máxima de  $148^{\circ}\text{C}$ .

Estes resultados corroboram Vianna (2008), o qual afirma que a maior temperatura é obtida em tubos de menores diâmetros, por fornecerem um maior fator de concentração devido as suas pequenas áreas projetadas. Tubos com pequenos diâmetros possuem, ainda, o benefício de serem aquecidos em toda a sua região inferior, enquanto tubos maiores são aquecidos pelos raios solares em apenas uma linha.

Um ponto que deve ser enfatizado é a adequada vedação de todas as conexões e frestas. Com as altas temperaturas e conseqüente geração de vapor, o sistema poderá perder sua eficiência a partir da perda de vapor (pressão) pelos pequenos orifícios e frestas, principalmente, nas peças especiais (equipamentos de medição e válvulas). Quando a temperatura da urina no tubo ultrapassou  $100^{\circ}\text{C}$  (após 1 hora do início do experimento) foram

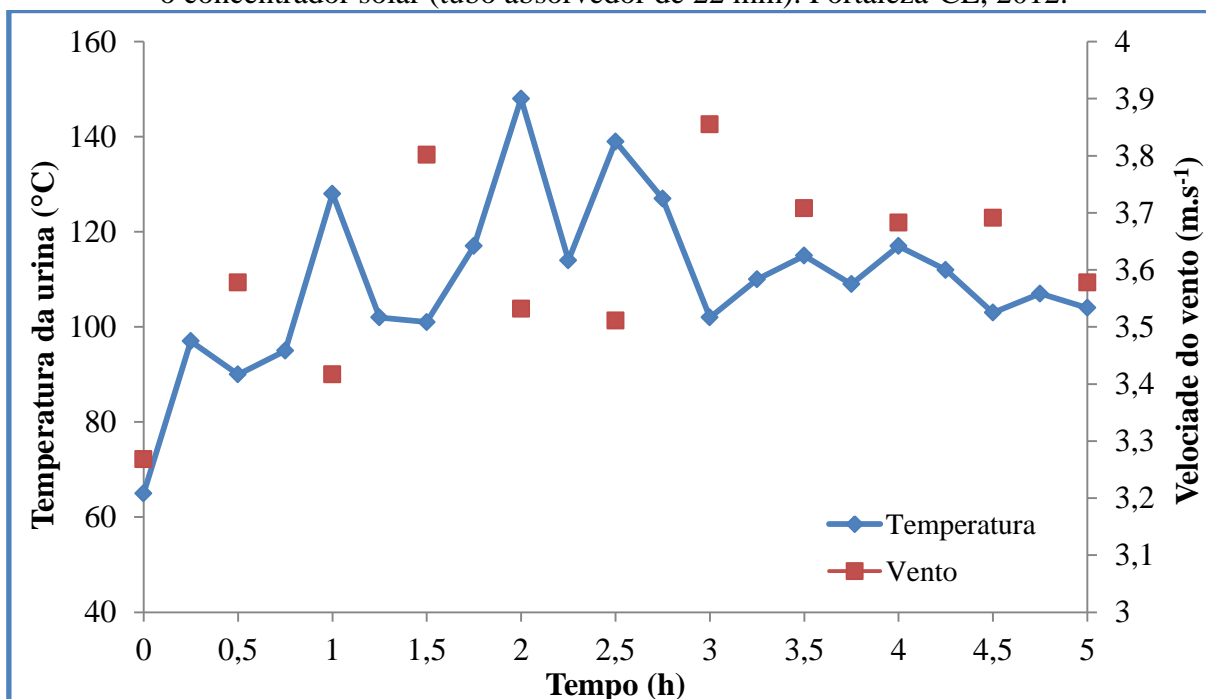
verificados quatro pontos de escape de vapor, dois nos equipamentos de medição de temperatura (figura 3.38) e dois nas uniões de entrada e saída do tubo.

Figura 3.36 – Temperatura da urina e radiação solar em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 22 mm). Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: Elaboração própria (2013)

Figura 3.37 – Temperatura da urina e velocidade do vento em função do tempo de ensaio com o concentrador solar (tubo absorvedor de 22 mm). Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: Elaboração própria, 2013.

Figura 3.38 – Pontos de vazamento e perda de pressão no sistema (orifício de inserção do termopar – medidor de temperatura). Fortaleza-CE, 2012.



Fonte: Elaboração própria (2013).

Em concordância com os principais problemas encontrados nesta pesquisa, Tao *et al.* (2011) afirmam que o concentrador solar do tipo cilíndrico-parabólico possui, basicamente, três desvantagens: (1) a linha focal do sistema se encontra acima da superfície de concentração, o que faz com que haja uma área de sombreamento nesta superfície; (2) esses sistemas exigem um aparato eletrônico de boa precisão para o rastreamento do sol e, conseqüente, rotação da parábola; (3) o tubo absorvedor está, diretamente, exposto ao vento, gerando perdas de energia.

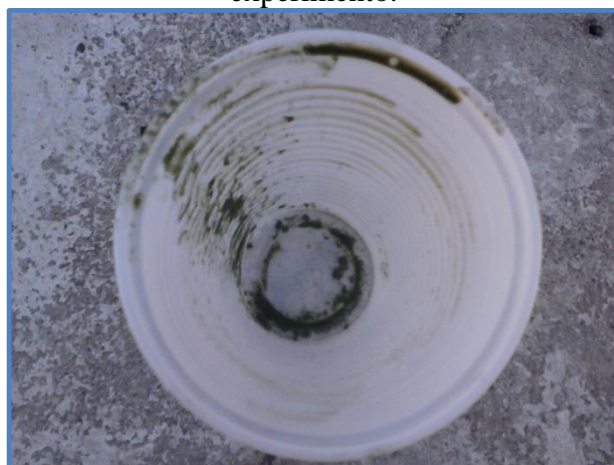
Com o intuito de evitar o resfriamento do tubo causado pelos fortes ventos, alguns autores sugerem revestir o tubo absorvedor com um tubo de vidro (borosilicato) que possui elevado índice de transmitância. Além de evitar o contato de agentes externos, o tubo de vidro gera um efeito estufa, tornando o sistema mais eficiente (SCHOTT [200-]; ESCOBAR-ROMERO, 2011). Outro sistema interessante foi proposto por Tao *et al.* (2011), cujos estudos desenvolveram um protótipo com a particularidade de possuir não apenas uma superfície curva refletora como nos concentradores tradicionais, mas múltiplas curvas capazes de gerar diversos feixes de luz incidentes no foco, além de proteger o tubo da ação do vento.

Comparando as concentrações de nitrogênio e fósforo na urina antes e depois do experimento com tubo de 22 mm, o sistema promoveu um aumento de 18% e 13%, respectivamente, nas concentrações de nitrogênio e fósforo. Apesar de estes valores serem baixos, não fogem das experiências com zeólitos que são de 15 a 60% para o nitrogênio e de 18% para o fósforo. Por outro lado, quando se combina o processo de zeólitos e a adição de MgO para recuperação da estruvita, os valores chegam a 100% para fósforo e 83% para o nitrogênio (GANROT *et al.*, 2007).

De acordo com Maurer *et al.* (2006), os processos de precipitação são os mais eficientes na redução do volume da urina. Já, a evaporação é tão eficiente quanto, resultando em um percentual de 5 a 10% de água, enquanto os processos de congelamento e osmose reversa possuem os menores percentuais de redução, entre 65 e 75%.

O manejo para remoção do material dentro do tubo não foi tão simples, e muitos sólidos ficaram incrustados na parede do tubo. A questão de como remover os sólidos após a redução da massa líquida de dentro do tubo ainda carece de pesquisas e aprimoramento. A figura 3.39 mostra resquícios do material sólido que ficou incrustado na parede do tubo e depois retirado por meio de leves golpes.

Figura 3.39 – Sobra do material sólido retirado de dentro do tubo de 22mm após o experimento.



Fonte: Elaboração própria (2013).

Mesmo com resultados não tão exitosos, acredita-se que seja, totalmente, possível reduzir, de forma expressiva, a massa líquida, utilizando tecnologias de concentração de energia solar, pois vários estudos trazem as experiências de aplicação destes processos no tratamento de água por meio da dessalinização (KHAWAJIA *et al.*, 2008; TZEN; MORRIS, 2003; KALOGIROU, 2005).

Caso os problemas descritos sejam corrigidos, tudo leva a crer que o sistema proporcionará temperaturas mais elevadas, tornando o concentrador bem mais eficiente, uma vez que temperaturas de até 300°C são reportadas por vários pesquisadores (PATIL; PATIL, 2012; DGGE/IP-AQSpP, 2004; SCHOTT [200-]; OUEDERNI *et al.*, 2008). Escobar-Romero *et al.* (2011) obtiveram temperaturas de até 200° C, gerando uma pressão de 12 kg.cm<sup>-2</sup>. Estes autores afirmam que temperaturas maiores, ainda, podem se alcançadas, pois a forma da

superfície refletora não estava adequada e o sistema possuía problemas de vazamento nas frestas e vedações.

## 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 4.1. Conclusões

- A água de chuva armazenada nas cisternas de placa pelas famílias da comunidade Vila Tomé não está isenta de contaminação microbiológica, necessitando de desinfecção antes do consumo, ou de um melhor manejo do descarte das primeiras águas, o qual deve ser menos dependente do usuário.
- Foi verificada diferença significativa de aceitação dos princípios do ecossaneamento, considerando o aspecto de gênero. As mulheres se mostraram mais receptivas ao sanitário ecológico, enquanto os homens afirmaram preferir sanitários convencionais com água ( $p < 0,05$ ).
- O potencial de aceitabilidade e sucesso da implantação de sanitários ecológicos, aparentemente, seria bastante promissor na comunidade rural Vila Tomé, caso fossem analisadas apenas as respostas dos entrevistados, uma vez que 90% responderam estarem de acordo com os conceitos do ecossaneamento, podendo utilizá-los no seu cotidiano. Contudo, o trabalho que foi realizado na comunidade, juntamente com os moradores, mostrou uma forte desunião comunitária, enfraquecendo o projeto, suas ações e a consequente desistência de todos em participar das reuniões, bem como na aceitação da tecnologia.
- Foram encontradas baixas concentrações de metais pesados (cádmio, chumbo, zinco, cobalto e cromo) nas amostras de urina.
- Como esperado, existem diferenças nas concentrações de macronutrientes na urina da população pesquisada, principalmente nitrogênio, quando comparadas as amostras divididas por sexo e faixa etária.
- A presença de sais como  $\text{Na}^+$  ( $>2.000\text{mg.L}^{-1}$ ) e  $\text{Cl}^-$  ( $>10.000\text{mg.L}^{-1}$ ) é uma preocupação quando se pretende utilizar a urina como biofertilizante. Dependendo da concentração, estes compostos são prejudiciais às plantas e ao solo, devendo-se, portanto realizar ações preventivas para minimizar os efeitos maléficos destes sais.

- O armazenamento da urina é um método de higienização de baixo custo e que se mostrou bastante eficiente para as condições de temperatura do Ceará, com um tempo de inativação de 90% de coliforme termotolerante menor do que 1 dia e inativação total em apenas 14 dias.
- Considerando o modelo matemático aplicado (Petela, 2005), quanto maior a abertura da parábola, maior é a transferência de calor para o tubo receptor de urina.
- A intensidade de radiação solar e a velocidade do vento são variáveis climáticas que afetam o rendimento do protótipo, a primeira é diretamente proporcional à temperatura da urina dentro do tubo, enquanto a segunda é inversamente proporcional.
- A temperatura máxima da urina quando se utilizou o tubo de maior diâmetro (100 mm) foi de 79°C, enquanto para o tubo de menor diâmetro (22 mm), a máxima foi de 148°C, uma diferença de 47%.
- Devido aos problemas que ocorreram na concepção de disposição das peças especiais (conexões e instrumentos e de medição), comparando as concentrações de nitrogênio e fósforo na urina antes e depois do experimento com tubo de 22 mm, o sistema promoveu um aumento de apenas 18 e 13%, respectivamente, nas concentrações de nitrogênio e fósforo.

#### **4.2. Recomendações**

- Avaliar a presença de hormônios e fármacos na urina de populações de comunidades rurais ou peri-urbanas e o comportamento (degradação) destas substâncias durante o processo de estocagem e de tratamento com o concentrador solar parabólico.
- Analisar a eficiência do armazenamento no tratamento de micro-organismos emergentes.
- Realizar novos experimentos com outros diâmetros (50 e 75 mm) para verificar a eficiência de absorção de energia. Apesar da maior perda de calor nos tubos de grandes diâmetros, a remoção dos sólidos inorgânicos é bem mais simples quanto maior for o diâmetro.
- Realizar novos ensaios com concentrador solar variando a vazão de bombeamento para verificar o efeito desta nas taxas de concentração do volume da água contida na urina.
- Avaliar para as mesmas condições climatológicas a eficiência do concentrador solar parabólico em comparação com o destilador solar e o processo de evaporação natural.

## REFERÊNCIAS

- ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solution- guidelines for households application in developing countries.** Department of Environmental Health. Beirut. American University of Beirut. UNICEF, 1984.
- ADAMSSON, M; BAN, Z.; DAVE, G. Sustainable utilization of human urine in urban areas practical experiences\*. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.
- AISSE, M.M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2000.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA (2005), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA, WATER ENVIRONMENT FEDERATION –WEF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 21st ed. Washington DC: APHA. 2005.
- ANDREOLI, C. V. (coord.). **Alternativas de uso de Resíduos do Saneamento; Biossólidos.** Rio de Janeiro – RJ; ABES, Projeto PROSAB, v.4, 417p, 2006.
- ANJOS, V. L. R. **Análise Experimental dos processos de transferência de calor aplicados à concentração solar.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2008.
- ASMUS, A. F. **Sistema para concentrar urina visando o reúso como fertilizante.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, 2009.
- AUSTIN, A. Health Aspects of Ecological Sanitation. FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOLOGICAL SANITATION. 2002. **Proceedings...** 5-8 November 2001 Nanning, China, 2002. Disponível em: [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/Nanning\\_PDFs/Eng/Aussie%20Austin%2028\\_E25.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/Nanning_PDFs/Eng/Aussie%20Austin%2028_E25.pdf). Acesso em: 20 de setembro de 2011.
- AVVANAVAR, S. M.; MANI, M. A conceptual model of people's approach to sanitation. **Science of the total environment** , v. 390, p. 1- 12, 2008.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura.** Traduzido por Gheyi H, Medeiros JF, Damasceno FV. UFPB, Campina Grande, PB, 218 pp. 1991.
- AZEVEDO NETTO, MARTINIANO, J. Cronologia dos serviços de esgotos, com especial menção ao Brasil. **Revista do Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo**, São Paulo, ano 20, n.33, p.15-19. 1959.



BARRETO, J. de A. **Comparação de eficiência de evaporadores de urina e estudo da variação das propriedades da urina durante o ciclo de evaporação. Monografia** (Curso de Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2009.

BAYKAL, B.B.; KOCATURK, N.P.; ALLAR, A.D.; SARI, B. The effect of initial loading on the removal of ammonium and potassium from source-separated human urine via clinoptilolite. **Water Science & Technology**, v. 60, n. 10, p. 2515–2520. 2009.

BAZZARELLA, B.B.; DIAS, G.B.; BASTOS, F.P.; WIGNER PL, Gonçalves RF. Caracterização quali-quantitativa da urina humana com vistas ao aproveitamento agrícola In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2005. ABES, Campo Grande.. **Anais...** Campo Grande – MS, Brasil. 2005. CD-ROM.

BEAL, C.; GARDNER, T.; AHMED, W.; WALTON, C.; HAMLYN-HARRIS, D. Closing the nutrient loop: A urine separation and reuse trial in the Currumbin Ecovillage, Qld. **Proceedings of AWA Conference, On Site 07**, Armidale, Setembro, 2007.

BENETTO, E.; NGUYEN, D.; LOHMANN, T.; SCHMITT, B.; SCHOSSELER, P. Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 1506 – 1516. 2009.

BEZERRA, A.M. **Desenvolvimento de um protótipo de fogão solar desmontável destinado ao esporte de Camping**, 1979. Disponível em: <http://moura.bezerra.sites.uol.com.br/cooker.htm>. Acessado em: 23 de abril de 2010.

BICHLER, K. H.; EIPPER, E.; NABER, K.; BRAUN, V.; ZIMMERMANN, R.; LAHME, S. Urinary infection stones. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 19, p. 488-498, 2002.

BLACKBURN, D.; RETAMAL, Y.; LIMA, M.; JALFIM, F.; VIANA, A.; JÚNIOR, M. Avaliação da contaminação microbiológica de água para consumo doméstico na região de atuação da Diaconia no semi-árido nordestino. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina, Piauí. **Anais...** Teresina, Piauí: ABCMAC, 2005.1CD-ROM.

BOTTO, M. P.; ELEUTÉRIO, A. T.; SOARES, M. F.; SANTOS, A. B. dos. Caracterização da Urina Humana Segundo Sexo e Faixa Etária em Comunidade Peri-Urbana localizada no estado do Ceará. In: Conferência Latino-Americana em Saneamento Sustentável (II ECOSANLAC), 2012, Vitoria - ES. **Anais: Conferência Latino-Americana em Saneamento Sustentável (II ECOSANLAC)**, 2012.

BRASIL. **Lei nº11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, DF: [s.n], 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 01 mai. 2010.

BRASIL. **Portaria nº 15**, de 15 de janeiro de 2010 do Ministério da Saúde/Secretaria de Atenção à Saúde. Brasília, DF: [s.n], 2010. Disponível em: [http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria\\_insuficiencia\\_adrenal\\_primaria.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_insuficiencia_adrenal_primaria.pdf) Acesso em: 08 de ago. 2011.

BRASIL. **Portaria nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Brasília, DF: [s.n], 2011. Disponível em: [http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria\\_2914\\_12\\_12\\_2011.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_2914_12_12_2011.pdf). Acesso em: 02 de abr. 2012.

BUENO, F.B.A.; LOPES, A.C.; CESARI, C.E.; CAMPOS, J.R. Avaliação de técnicas para tratamento da urina humana. ABES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23.. 2005, ABES. **Anais...** Campo Grande – MS, Brasil. 2005. CD-ROM.

CANTAROW, A. & SCHEPARTZ, B. **Biochemistry**. 4<sup>th</sup> edition. Philadelphia: W. B. Saunders, 1967.

CARNEIRO, G.A.; BARBOSA, R.M.; SOUZA, M.A. Tecnologia apropriada em saneamento: uma nova abordagem com o emprego de análise multiobjetivo e multicritério. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2004, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2004. 1 CD-ROM.

CENTER FOR SUSTAINABLE SYSTEMS, University of Michigan. “U.S. Water Supply and Distribution Fact Sheet.” Pub No. CSS05-17, 2012. Disponível em: [http://css.snre.umich.edu/css\\_doc/CSS05-17.pdf](http://css.snre.umich.edu/css_doc/CSS05-17.pdf). Acesso em: 20 de dez. 2012.

COHIM, E.; ASHER, K. **Produção Limpa e Eco-Saneamento. Prata da Casa: construindo produção Limpa na Bahia**. Teclim/ Universidade Federal da Bahia. 2008.

COHIM, F.; FONTOURA, K.; COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Do saneamento tradicional ao saneamento ecológico: a necessidade de construir uma dimensão sociocultural. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina, 1., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Ecosanlac, 2007. 1 CD-ROM.

COMBER, S.D.W., GUNN, A.M. Heavy metals entering sewage – Treatment works from domestic sources. **Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management**, v. 10, p. 137–142. 1996.

DAGERSKOG, L.; BONZI, M. **Opening minds and closing loops – productive sanitation initiatives in Burkina Faso and Niger**. EcoSan Club, Sustainable Sanitation Practice Journals, Issue 3, 2010. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1033>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.

DEL PORTO, D.; STEINFELD, C. **Composting Toilet System Book: A Practical Guide Pollution to Choosing, Planning, and Maintaining Composting Toilet Systems**. Center of Ecological Prevention. 2000.

DGGE/IP-AQSpP, **Utilização de coletores solares para a produção de calor de Processo Industrial**, Relatório da Comissão Europeia, Direção-Geral de Energia e Transporte, Lisboa, Portugal, 2004.

DRANGERT, J.-O. Fighting the urine blindness to provide more sanitation options. **Water SA**, 24, 2. 1998.

DUNCKER, L.C.; MATSEBE, G.N. Prejudice and attitudes toward reuse of nutrients from urine diversion toilets in South Africa. In: WEDC INTERNATIONAL CONFERENCE, 33., 2008, Accra, Ghana. **Proceedings...** Accra: WEDC, 2008. Disponível em: [http://wedc.lboro.ac.uk/conferences/pdfs/33/Dunker\\_LC.pdf](http://wedc.lboro.ac.uk/conferences/pdfs/33/Dunker_LC.pdf). Acesso em: 23 mar. 2009.

EPA - US Environmental Protection Agency e US Agency for International Development. **Guidelines for water Reuse: EPN625/R-92/004**, Washington, D.C. 1992.

ESCOBAR-ROMERO, J. F. M.; VÁZQUEZ Y MONTIEL, S.; GRANADOS-AGUSTÍN, F.; CRUZ-MARTÍNEZ, V. M.; RODRÍGUEZ-RIVERA, R.; MARTÍNEZ-YÁÑEZ, L. Building a parabolic solar concentrator prototype. XVII Reunión Iberoamericana de Óptica & X Encuentro de Óptica, Láseres y Aplicaciones. IOP Publishing, **Journal of Physics: Conference Series**, v. 274, 2011. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/1742-6596/274/1/012104>. Acesso em: 31 de dez. de 2012.

ESREY, S.; ANDERSSON, I.; HILLERS, A.; SAWYER, R. **Closing the loop Ecological Sanitation for food security**. SIDA, Stockholm, Sweden. 2001.

ESREY, S.; GOUGH, J.; RAPAPORT, D.; SAWYER, R.; SIMPSON-HÉBERT, M.; VARGAS, J.; WINBLAD, U. **Ecological Sanitation**. SIDA, Stockholm, Sweden, 1998.

ESREY, S.A. Towards a Recycling Society Ecological Sanitation - Closing the Loop to Food Security. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, out. 2000, Bonn. **Proceedings...** Bonn, Germany: GTZ/IWA 2000. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/dokumente/en-proceedings-1st-international-ecosan-symposium-2000.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

ETTER, B. Struvite recovery from urine at community scale in Nepal. **Project intermediate report submitted to EPFL** (Swiss Federal Institute of Technology Lausanne). Kathmandu: UN Habitat. 2009. Disponível em: <http://www.sswm.info/library/4096>. Acesso em: 09 de jan. 2013.

ETTER, B.; TILLEY, E.; KHADKA, R.; UDERT, K. M. Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 852-862, 2011.

FEACHEM, R., BRADLEY, D., GARELICK, H., MARA, D., 1983. **Sanitation and disease health aspects of excreta and wastewater management**. World Bank Studies in Water Supply and Sanitation, 3. The World Bank, Washington, USA.

FERREIRA, J. C. **Remoção de amônia gerada em granjas avícolas e sua utilização em células à combustível e uso como fertilizante**. 2010 Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2010.

FITTSCHEN, I.; HAHN, H. H. Characterization of the municipal wastewater parameters human urine and preliminary comparison with liquid cattle excretion. **Water science technology**, Alemanha, v. 38, n. 6, p. 9-16, 1998.

FOIL, J.L.; CERWICK, J.A.; WHITE, J.E. Collection Systems Past and Present: A Historical Perspective of Design, Operation, and Maintenance. **Operations Forum Magazine**, v. 10, Number 12. 2003.

FRANCI, R. **Uso Racional da Água em Edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, ABES, 2006.

GANROT, Z.; DAVE, G.; NILSSON E. Recovery of N and P from human urine by freezing, struvite precipitation and adsorption to zeolite and active carbon. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 3112–21, 2007.

GRAY, H.F. "Sewerage in Ancient and Medieval Times." **Sewage Works Journal**, v.12, n. 5, p. 939 - 946. 1940.

HARREMOËS, P. Integrated water and waste management. 1997. **Water, Science & Technology**, v. 35, n. 9, p. 11-20, 1997.

HEINONEN-TANSKI, H.; WIJK-SIJBESMA, C. v. Human excreta for plant production. **Bioresource Technology**, 96, p. 403–411. 2005.

HELLSTRÖM, D.; JOHANSSON, E.; GRENNBERG, K. Storage of human urine: acidification as a method to inhibit decomposition of urea. **Ecological Engineering**, v. 12, p. 253–269. 1999.

HERMANN, H-J. Ecosan as One Element of Advance Towards an Ecological Urban Planning. GTZ. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, out. 2000, Bonn. **Proceedings...** Bonn, Germany: GTZ/IWA 2000. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/dokumente/en-proceedings-1st-international-ecosan-symposium-2000.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

HESPANHOL, I. Um Novo Paradigma para a Gestão de Recursos Hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 131 – 158, 2008.

HINRIGCHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Thomson, 2003. 543p.

HÖGLUND, C. **Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source-separated human urine**. 2001. PhD thesis. Royal Institute of Technology (KTH). Department of Biotechnology, Applied Microbiology. Stockholm, Sweden, 2001.

HÖGLUND, C., ASHBOLT, N., STENSTROM, T.A., SVENSSON, L., Viral persistence in source-separated human urine. **Adv. Environmental Research**, v. 6, p. 265–275, 2002.

HÖGLUND, C.; STENSTRÖM, T.A. Survival of cryptosporidium parvum oocysts in source separated human urine. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 45, p. 740–746. 1999.

HÖGLUND, C.; STENSTRÖM, T.A.; SUNDIN, A.; JÖNSSON, H.; VINNERÅS, B. Hygienic quality of source separated urine based on the analysis of faecal indicator bacteria. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT STRATEGIES FOR ORGANIC WASTE USE IN AGRICULTURE (RAMIRAN 98), 8<sup>th</sup>, 2003, FAO and Cemagref, Antony, France. **Proceedings ...** Antony, France. p. 517-528. 1999.

HÖGLUND, C.; VINNERÅS, B., STENSTRÖM, T.A., JÖNSSON, H. Variation of chemical and microbial parameters in collection and storage tanks for source separated human urine. **Journal of Environmental Science and Health, Part A - Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 35, p. 1463–1475. 2000.

HOLMAN, J.P. (1983) **Transferência de calor**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.

JENSEN, P. K. M.; PHUC, P. D.; KNUDSEN, L. G.; DALSGAARD, A.; KONRADSEN, F. Hygiene versus fertiliser: The use of human excreta in agriculture –A Vietnamese example. **International Journal Hygiene and Environmental Health**, v. 211, pp. 432–439. 2008.

JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; HÖGLUND, C.; STINTZING, A. R; RODHE, L. **Urine separation – closing the nutrient cycle** (English version of report originally published in Swedish). Stockholm Water Company. Stockholm., Sweden, 2001.

JÖNSSON H, STINZING A.R.;VINNERÅS, B.; SALOMON, E. **Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production**, EcoSanRes Publication Series Report 2004-2, Stockholm Environment Institute, Sweden; 2004.

JÖNSSON H. Source separation of human urine - separation efficiency and effects on water emissions, crop yield, energy usage and reliability. In: GTZ, editor. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOLOGICAL SANITATION, 1<sup>st</sup>, 2001. **Proceedings...**Nanning, PR China; 2001. p. 39– 45. 2001.

JÖNSSON, H. The role of ecosan in achieving sustainable nutrient cycles. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em:

<http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

JÖNSSON, H. & VINNERÅS. Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

JÖNSSON, H.; STENSTRÖM, T.A.; SVENSSON, J.; SUNDIN, A. Source separated urine-nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination. **Water Science and Technology**, n. 35, v. 9, p. 145–152, 1997

JÖNSSON, H.; VINNERÅS, B.; HÖGLUND, C.; STENSTRÖM, T.A.; DALHAMMAR, G.; KIRCHMANN, H. **Recycling source separated human urine**.VA-Forsk Report 2000-1,VAVAB, Stockholm, Sweden; 2000.

JÖNSSON, H.; VINNERÅS, B.; HÖGLUND, C.; STENSTRÖM, T-A. Source separation of urine. **Wasser Boden**, v. 51, no. 11, p. 21-25. 1999.

JUNIOR, A.P.F; PHILIPPI, L.S. Uma Análise da Gestão do Saneamento Descentralizado em Município de Médio Porte – Estudo de Caso: Blumenau-SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2005. ABES, Campo Grande.. **Anais...** Campo Grande – MS, Brasil. 2005. CD-ROM.

KALBERMATTEN, J.M.; JULIUS, D.S.; GUNNERSON C.G. **Appropriate Technology in Water Supply and Sanitation: Technical and Economic Options**. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. December, 1980.

KALOGIROU, S. Seawater desalination using renewable energy sources. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 31, p. 242-281, 2005.

KANTEK GARCIA-NAVARRO, C. E. **Manual de urinálise**. São Paulo: Varela, 1996. 96p.

KAPLAN, S. Human nature and environmentally responsible behavior. **Journal of Social Issues**, v. 56, p. 491–508, 2000.

KARAK, T.; BHATTACHARYYA, P. Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. **Resource Conservation Recycling**. 2011, doi:10.1016/j.resconrec.2010.12.008.

KEHOE, R.A., CHOLAK, J., STORY, R.V. A spectrochemical study of the normal ranges of concentration of certain trace metals in biological materials. **Journal of Nutrition**, n. 19, v. 6, p. 579–592. 1940.

KHAWAJIA, A. D.; KUTUBKHANHA, I. K.; WIEB, J. Advances in seawater desalination technologies. **Desalination**, v. 221, p. 47-69, 2008.

KIM, N.; FERGUSON, J. Concentrations and sources of cadmium, copper, lead and zinc in dust in Christchurch, New Zealand. **Science of the Total Environment**, v. 138, p. 1–21, 1993.

KIRCHMANN, H.; PETTERSSON, S. Human urine - Chemical composition and fertilizer use efficiency. **Fertilizer Research**, v. 40, p. 149-154. 1995.

KROH, W. Keynote addresses: Sustainable water management – a global challenge for the 21st century. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, out. 2000, Bonn. **Proceedings...** Bonn, Germany: GTZ/IWA 2000. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/dokumente/en-proceedings-1st-international-ecosan-symposium-2000.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

KUNTKE, P.; ŚMIECH, K. M.; BRUNING, H.; ZEEMAN, G.; SAAKES, M.; SLEUTELS, T. H.; HAMELERS, H. V.; BUISMAN, C. J. Ammonium recovery and energy production from urine by a microbial fuel cell, **Water Research**, v. 46, p. 2627-2636, 2012.

KVARNSTRÖM, E.; EMILSSON, K.; STINTZING, A. R.; JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; PETERSENS, E.; SCHÖNNING, C.; CHRISTENSEN, J.; HELLSTRÖM, D.; QVARNSTRÖM, L.; RIDDERSTOLPE, P.; DRANGERT, J. Separação de urina: **Um passo em direção ao saneamento sustentável**. Programa EcoSanRes. Stockholm Environmental Institute – SEI. 2006. Disponível em: [www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org). Acesso em: 16 dez. 2010.

LAMINO, S. **Identification des risques sanitaires et des opportunités de production de fertilisants dans le système de collecte d’urine du projet assainissement productif dans le département d’Aguié au Niger**. 2009 Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - 2iE) Ouagadougou, Burkina Faso, 2009. <http://www.ecosanres.org/aguie/documents/Memoire-RisquesSanitairesEtDesOpportunités-LAMINO-lowres.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2010.

LANGERGRABER, G; UELLEGER, E. Ecological Sanitation – a way to solve global sanitation problems? **Environmental International**, n. 31 , p 433-444, 2005.

LENNARTSSON, M.; KVARNSTRÖM, E.; LUNDERG, T.; BUENFIL, J.; SAWYER, R. **Comparing Sanitation Systems Using Sustainability Criteria**. Stockholm Environment Institute, 2009.

LENS, P.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. **Decentralized Sanitation and Reuse. Concepts, Systems and Implementation**, IWA Publishing, UK, 2001.

LENTNER, C.; WINK, A. **Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition**. Geigy Scientific tables. Ciba-Geigy, Basle. 1981.

LIENERT, J.; LARSEN, T.A. Considering user attitude in early development of environmentally friendly technology: A case study of NoMix toilets. **Environmental Science & Technology**, v. 40, n. 16, p. 4838–4844, 2006.

LIND, B.; BAN, Z.; BYDÉN, S. Volume reduction and concentration of nutrients in human urine. **Ecological Engineering**, Sweden, v.16, n.4, p.562-566, 2000.

LIND, B-B., BAN, Z.; BYDÉN S. Nutrient recovery from human urine by struvite crystallization with ammonia adsorption on zeolite and wollastonite. **Bioresource Technology**, 73, p. 169 -174, 2000.

LIND, B-B.; BAN, Z.; BYDÉN, S. Volume reduction and concentration of nutrients in human urine. **Ecological Engineering**, v. 16, p. 561-566, 2001.

LOPES, H. J. J. **O Laboratório Clínico na Avaliação da Função Renal**. Gold Analisa Diagnóstica Ltda. Belo Horizonte, MG. 2004. Disponível em: [http://www.goldanalisa.com.br/publicacoes/Funcao\\_renal.pdf](http://www.goldanalisa.com.br/publicacoes/Funcao_renal.pdf). Acesso em: 20 de janeiro de 2010.

LOSONCY, L. **Why Decentralized Sanitation Systems?**, 2007. Disponível em: [http://EzineArticles.com/?expert=Lawrence\\_Losoncy](http://EzineArticles.com/?expert=Lawrence_Losoncy) . Acesso em: 19 de janeiro de 2011.

MASSOUD, M.; TARHINI, A.; NASR, J. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. 2009. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 652-659.

MAURER, M.; PRONK, W.; LARSEN, T.A. Treatment processes for source-separated urine. **Water Research**, v. 40, p. 3151 – 3166, 2006.

MEDILANSKI, E.; CHUAN, L.; MOSLER, H.; SCHERTENLEIB, R.; LARSEN, T.A. Wastewater Management in Kunming, China: Feasibility and Perspectives of Measures at the Source from a Stakeholder Point of View. **Environment and Urbanization**, v. 18, n. 2, p. 353-368, 2006

MEINZINGER, F.; OLDENBURG, M. Characteristics of source-separated household wastewater flows – a statistical assessment. In: SANITATION CHALLENGE CONFERENCE, Maio 19 – 21, 2008, Wageningen, The Netherlands. **Proceedings....** Wageningen, The Netherlands. 2008. Disponível em: <http://www.sanitation-challenge.wur.nl/NR/rdonlyres/15D1C7DB-AF46-403A-8FCB-51ECBA46339A/64946/Theme4Session1Meinzinger.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2012.

MEINZINGER, F.; OLDENBURG, M.; OTTERPOHL, R. No waste, but a resource: Alternative approaches to urban sanitation in Ethiopia. **Desalination** 248, p. 322–329. 2009.

METCALF & EDDY, Inc. **“Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse”**. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - ReCESA (Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental). Saneamento Básico Integrado às Comunidades Rurais e Populações Tradicionais. Guia no Profissional em Treinamento. Brasília: Ministério das Cidades. 2009.



MORIYAMA, K.; MORI, T.; ARAYASHIKI, H.; SAITO, H.; CHINO, M.; The amount of heavy metals derived from domestic wastewater. **Water Science and Technology**, v. 21, p. 1913–1916, 1989.

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

MOURA, J. P. de. **Concentração e avaliação térmica de um fogão solar tipo caixa**. 194f, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2007.

MÜNCH, E. v.; AMY, G. FESSELET, J. F. Ecosan Can Provide Sustainable Sanitation in Emergency Situations with Benefits for the Millennium Development Goals. **Water Practice & Technology**, v. 1, n. 2, IWA Publishing, 2006.

MURRAY, P.R.; ROSENTHAL, K.S.; KOBAYASHI, G.S.; PFALLER, M.A. **Microbiologia médica**, Trad. de Patrícia Josephine Voeux. 3a ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1998.

NAKAGAWA, N.; OTAKI, M.; MIURA, S.; HAMASUNA, H.; ISHIZAKI, K. Field survey of a sustainable sanitation system in a residential house. **Journal of Environment Sciences**, v. 18, n. 6, p. 1088-1093, 2006.

NARAIN, S. Why the flush toilet is ecologically mindless and why we need a paradigm shift in sewage technology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

NAWAB, B; NYBORG, I.L.P.; ESSER, K.B.; JENSSEN, P.D. Cultural preferences in designing ecological sanitation systems in North West Frontier Province, Pakistan. **Journal of Environmental Psychology**, 26, p. 236–246, 2006.

OLIVEIRA, L.L.; DE OLIVEIRA, M.J.M.; GADELHA, F.P.; RODRIGUES, C.E.F.B. **Caracterização de Culturas de Urinas Realizadas no Laboratório de Análises Clínicas e Toxicológicas da Universidade Potiguar – Natal/Rn**. NewsLab - edição 100, p. 132 – 142. 2010.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water** 21, p. 37-41, out. 2001.

OTTERPOHL, R. New Developments of EcoSan in Germany and Europe. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, out. 2000, Bonn. **Proceedings...** Bonn, Germany: GTZ/IWA 2000. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/dokumente/en-proceedings-1st-international-ecosan-symposium-2000.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

OTTERPOHL, R; BRAUN, U; OLDENBURG, M. Innovative technologies for decentralized water, wastewater and biowaste management in urban and periurban areas. **Water Science and Technology**, Vol. 48, nº.11-12, p. 23-32, 2003.

OTTERPOHL, R; GROTTKER, M; LANGE, J. Sustainable Water and Waste Management in Urban Areas. **Water, Science and Technology**, v.. 35, n. 9, p. 121-133, 1997.

OUEDERNI, A. R.; DAHMANI, A. W.; ASKRI, F.; SALAH, M. B.; NASRALLAH, S. B. Experimental study of a parabolic solar concentrator. **Revue des Energies Renouvelables CICME'08** Sousse, p. 193 – 199, 2008.

PAHL-WOSTL, C.; SCHÖNBORN, A.; WILLI, N.; MUNCKE, J.; LARSEN, T.A. Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. **Water Science and Technology**, v. 48, n.1, p. 57–65, 2003.

PARASKEVAS, P.A.; GIOKAS, D.L.; LEKKAS, T.D. Wastewater management in coastal urban areas: the case of Greece. **Water Science and Technology**, v. 46, n. 8, p. 177–186, 2002.

PATERSON, C.; MARA, D.; CURTIS, T. Pro-poor sanitation technologies. **Geoforum**, v. 38, p. 901 – 907, 2007.

PATIL, M. R.; PATIL, P. S. Techno-economic assessment of solar steam cooking system. **World Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 4, p. 12-14, 2012.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. DE; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**, INPE, São José dos Campos, 60p, 2006.

PEREIRA, F.; BRAGA, C.; SILVA, A.; AMÉRICO, J. Análise da qualidade e do armazenamento da água consumida na antiga escola agrícola de Ceará-Mirim/RN. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2007, João Pessoa-PB. **Anais...** João Pessoa, 2007.

PETELA, R. (2005). Exergy analysis of the solar cylindrical-parabolic cooker. **Solar Energy** v. 79, p. 221-233, 2005. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acessado em: 01 de setembro de 2009.

PHILIPPI, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. São Paulo: Ed. Manole, 2007.

PRONK, W.; KONÉ, D. Options for Urine Treatment in the Developing Countries. **Desalination**, v. 248, n. 1-3, p. 360-368, 2009.

QUITZAU, M.B. “Water-flushing toilets: Systemic development and path-dependent characteristics and their bearing on technological alternatives”. **Technology in Society**, v. 29, n.3, p. 351-360, 2007.

RAUCH, W.; BROCKMANN, D.; PETERS, I.; LARSEN, T.A.; GUJER, W. Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. **Water Research**, v. 37, 2003.

REBOUÇAS, T.C.; BIANCHI, G. & GONÇALVES, R.F. Caracterização de águas residuárias de origem residencial. Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina. 2007. Fortaleza – CE, **Anais...Fortaleza**, 2007.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A.M. **The use of saline water for crop production**. FAO, Rome, p.133. 1992.

RIOS, E.C.; de FREITAS, L. T.; ZANCHETA, P. G.; da COSTA, A. N.; GONÇALVES, R. F. Utilização de Águas Amarelas como Fertilizante Natural no Cultivo Agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2007, ABES. **Anais...** Belo Horizonte – MG, Brasil. 2007. CD-ROM.

ROBINSON, B. E. **Household Adoption of Ecological Sanitation: An Assessment of Agricultural Value and User Perspectives in Nyanza Province, Kenya**. 154f, 2005. Master Thesis (Master in city planning in environmental policy and master in engineering in civil and environmental engineering. Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology, 2005.

RODRIGUES, Z. R. C.; AQUINO, R.F. Cidades Fértis e Pessoas Saudáveis (Sistemas de Privadas de Compostagem e Agricultura Urbana). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2005. ABES, Campo Grande.. **Anais...** Campo Grande – MS, Brasil. 2005. CD-ROM.

RONTELTAP, M.; MAURER, M.; GUJERA, W. Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. **Water Research**, v. 41, n. 5, p. 977-984, 2007.

RONTELTAP, M.; MAURER, M.; HAUSHERR, R.; GUJER, W. Struvite precipitation from urine – influencing factors on particle size. **Water Research**, v. 44, p. 2038–2046, 2010.

ROSEMARIN, A. EcoSanRes – a Swedish International ecosan programme. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

ROSENQUIST, L.E.D. A psychosocial analysis of the human-sanitation nexus. **Journal of Environmental Psychology**, 25, p. 335 – 346, 2005.

SCHÖNNING, C., STENSTRÖM, T. A. **Guidelines for the safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems**. EcoSanRes report 2004-1, Stockholm Environment Institute, Sweden. 2004. Disponível em: [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/ESR\\_Publications\\_2004/ESR1web.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR1web.pdf). Acesso em: 22 de maio de 2009.

SCHÖNNING, C.; LEEMING, R.; STENSTRÖM, T.A. Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols. **Water Research**, v. 36, p. 1965–72. 2002.

SCHOUW, N. L.; DANTERAVANICH, S.; MOSBAEK, H.; TJELL, J. C. Composition of Human Excreta – a case study from Southern Thailand. **The Science of the Total Environment**, v. 286, pp. 155-166. 2002.

SHANNON, M. A, BOHN PW, ELIMELECH M, GEORGIADIS JG, MARINAS BJ, MAYES AM. SCIENCE and technology for water purification in the coming decades. **Nature**, v. 452, p. 301–10, 2008.

SILVA, C.V. da. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG.** 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais – MG, 2006.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Ministério das Cidades. Dados de 2010. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em 10 de fev. 2012.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Ministério das Cidades. Dados de 2008. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em 10 de fev. 2012.

SOUSA, J. T.; HENRIQUE, I. N.; LOPES, W. S.; LEITE, V. D. Gerenciamento sustentável de água residuária doméstica. **Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal**, v. 9, n. 1. 2008.

STAMM, W.E.; COUNTS, G.W.; RUNNING, K.R.; FIHN S; TURCK, M.; HOLMES, K.K. Diagnosis of coliform infection in acutely dysuric women. **The New England Journal of Medicine**, v. 307, p. 463-468, 1982.

STEINFELD, C.; DEL PORTO D. **Reusing the resource: Adventures in ecological wastewater recycling.** EcoWaters. 2007.

STRAUSS, M. **Human Waste (Excreta and Wastewater) Reuse.** EAWAG/SANDEC, Duebendorf, Switzerland. 2000. Disponível em: [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/wra/dl/human\\_waste\\_use\\_ETC\\_SIDA\\_UA.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/wra/dl/human_waste_use_ETC_SIDA_UA.pdf). Acesso em: 21 de novembro de 2010.

TAO, T.; HONGFEI, Z.; KAIYAN, H.; MAYERE, A. A new trough solar concentrator and its performance analysis. **Solar Energy**, v. 85, p. 198-207, 2011.

TAVARES, A.C. **Aspectos Físicos, Químicos e Microbiológicos da Água Armazenada em Cisternas de Comunidades Rurais no Semiárido Paraibano.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA) – Universidade Federal da Paraíba/ Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2009.

TETTENBORN, F.; BEHRENDT, J.; OTTERPOHL, R. **Resource recovery and removal of pharmaceutical residues: Treatment of separate collected urine**. Institute of Wastewater Management and Water Protection Hamburg University of Technology. 2007. Disponível em: [http://kompetenzwasser.eu/fileadmin/user\\_upload/pdf/forschung/scst/SCST\\_Urine\\_Treatment\\_FinalReport\\_Task\\_7\\_\\_TUHH\\_\\_Tettenborn\\_5.9.2007\\_.pdf](http://kompetenzwasser.eu/fileadmin/user_upload/pdf/forschung/scst/SCST_Urine_Treatment_FinalReport_Task_7__TUHH__Tettenborn_5.9.2007_.pdf). Acesso em: 26 de julho de 2010.

THOMAS, A. Solar steam generating system using parabolic trough concentrators. **Energy Conversion and Management**, v. 37, n. 2, p. 215-245, 1996.

THOMAS, A.; GUVEN, H. M. Parabolic trough concentrators - design, construction and evaluation. **Energy Conversion and Management**, v.. 34, n. 5, p. 401-416, 1993.

TZEN, E.; MORRIS, R. Renewable energy sources for desalination. **Solar Energy**, v. 75, p. 375-379, 2003.

UDERT, K. M.; LARSEN, T. A.; GUJER, W. Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. **Water Research**. v. 37, p. 2667–2677, 2003.

UDERT, K.M.; LARSEN, T.A.; GUJER, W. Fate of major compounds in source-separated urine. **Water Science Technology**, v. 54, n. 11-12, p. 413-420, 2006.

VAHTER, M.; BERGLUND, M.; LIND, B.; JORHEM, L.; SLORACH, S.; FRIBERG, L. Personal monitoring of lead and cadmium exposure – A Swedish study with special reference to methodological aspects. **Scandinavian Journal of Work, Environment and Health**, v. 17, p. 65–74. 1991.

VAN DER GEEST, S. Akan shit: Getting rid of dirt in Ghana. **Anthropology Today**, v. 14, n.3 p. 8–12, 1998.

VENHUIZEN, P.E.; **The Decentralized Concept of "Waste" Water Management**. 1986. Disponível em: [http://www.venhuizen-ww.com/html/papers/dc\\_concept.html](http://www.venhuizen-ww.com/html/papers/dc_concept.html). Acesso em: 19 de janeiro de 2011.

VIANNA, A. R. **Análise da redução da perda de carga em escoamento de óleos pesados por termo acumulação utilizando energia solar: projeto de aprimoramento do concentrador solar**. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES, 2008.

VIET ANH, N.; DUC HA, T.; HIEU NHUE, T.; HEINS, U.; MOREL, A.; MOURA, M.; SCHERTENLEIB, R. Decentralised wastewater treatment – new concepts and technologies for Vietnamese conditions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

VINNERÅS B.; NORDIN, A.; NIWAGABA, C.; NYBERG, K. Inactivation of bacteria and viruses in human urine depending on temperature and dilution rate. **Water Research** v. 42, p. 4067–74, 2008.

VINNERÅS, B. **Faecal separation and urine diversion for nutrient management of household biodegradable waste and wastewater**. Licentiate thesis, Report 244, Department of Agricultural Engineering, SLU. Uppsala, Sweden. 2001.

VINNERÅS, B.; JÖNSSON, H.; SALOMON, E.; STINTZING, A.R. Tentative guidelines for agricultural use of urine and faeces. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

VINNERÅS, B.; JÖNSSON, H. The performance and potential of faecal separation and urine diversion to recycle plant nutrients in household wastewater. **Bioresource Technology**, 84 p. 275 – 282. 2002.

von MÜNCH, E.; WINKER, M. **Technology Review - Urine diversion components: Overview of urine diversion components such as waterless urinals, urine diversion toilets, urine storage and reuse systems**. 2009. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/dokumente/gtz2009-en-technology-review-urinediversion.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ªed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243p.

WENG, B.; ZHOU, J.; ZHENG, S.; CHEN, X.; ZHANG, W.; HUANG, Q. Field Utilization of Dried Water Hyacinth for Phosphorous Recovery from Source-Separated Human Urine. **Journal of Environmental Protection**, v. 3, p. 715-721, 2012.

WERNER, C.; FALL, P.A.; SCHILICK, J.; MANG, H-P. Reasons for and principles of ecological sanitation . In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

WERNER, C.; PANESAR, A.; RÜD, S.B.; OLT, C.U. Ecological sanitation: Principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management. 2009. **Desalination**, v. 248, p. 392-401.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality** - 4th ed. Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2011. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf). Acesso em: 05 de maio de 2012.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater - Volume I: Policy And Regulatory Aspects**. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2006. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf). Acesso em: 13 de janeiro de 2011.

WILSENACH; J. A.; SCHUURBIERS, C. A. H.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Phosphate and potassium recovery from source separated urine through struvite precipitation. **Water Research**, v. 41, p. 458 – 466, 2007.

WINKER, M.; VINNERÅS, B.; MUSKOLUS, A.; ARNOLD, U.; CLEMENS, J. Fertiliser products from new sanitation systems: Their potential values and risks. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4090–4096, 2009.

WOLGAST, M. R. **Clean Waters Thoughts about recirculation**. Uppsala, Creamon 1993. 186 p.

WSSCC - WATER SUPPLY & SANITATION COLLABORATIVE COUNCIL WASH - **Media Guide for Professionals**. Geneva, março, 2003. Disponível em: <http://www.wsscc.org/res/publications.php>. Acesso em: 04 mai. 2005.

ZANCHETA, P. G. **Recuperação e Tratamento da Urina Humana Para Uso Agrícola**. 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

ZANCHETA, P. G; REBOUÇAS, C.C; dos SANTOS, T. O; GONÇALVES, R. F. Caracterização quali-quantitativa da urina humana de diferentes faixas etárias objetivando o seu reúso como fertilizante agrícola natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2007, ABES. **Anais...** Belo Horizonte – MG, Brasil. 2007. CD-ROM.

## 4° CAPÍTULO

---



## USO DA URINA HUMANA COMO FERTILIZANTE NATURAL NA CULTURA DA MAMONA

---

### RESUMO

Nesta etapa da pesquisa objetivou-se analisar o comportamento da cultivar mamona BRS Nordeste em termos de produtividade e crescimento, quando fertilizada com urina humana, assim como avaliar o impacto deste biofertilizante no solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos aplicados foram: T1 - irrigação com água bruta e adubação química e orgânica; T2 - irrigação com água bruta e aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 - irrigação com água bruta e aplicação de urina na dose recomendada; T4 - irrigação com água bruta e aplicação de 0,5 de urina da dose recomendada e T5 - irrigação com água bruta e aplicação de 1,5 de urina da dose recomendada. Os resultados mostraram que com relação às variáveis, altura da planta e diâmetro caulinar, não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) quando se comparou os tratamentos T1, T2 e T5. Por outro lado, a fertilização química foi capaz de gerar incrementos significativos ( $p<0,05$ ) no número de racemos quando comparado com a biofertilização, alcançando um valor médio de 35% superior à T5, que obteve o segundo melhor resultado. No que diz respeito ao peso de mil sementes, não foi possível verificar diferença expressiva. A fertilização química (T1) respondeu de forma significativa e atingiu a maior produtividade ( $p<0,05$ ) no fim do ciclo. As produtividades médias das sementes da mamona foram as seguintes: 1256,7; 1048,5; 671,8; 477,8 e 1081,2  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , o que representa diferenças relativas entre o tratamento controle (1256,7  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e os demais, iguais a 16,6; 46,5; 61,9 e 13,9%, respectivamente para T2; T3; T4 e T5. Os teores médios de óleo das sementes obtidos foram: 55,9; 53,6; 55,5; 54,2 e 55,4%, para T1; T2; T3; T4 e T5, respectivamente, sem apresentar efeito significativo entre os tratamentos ( $p>0,05$ ). Com relação aos atributos físicos e químicos do solo, não foi possível observar diferenças significativas antes e depois do plantio da mamona para os tratamentos empregados. Contudo, os resultados indicaram que quanto maior a dose de urina aplicada, maior é a condutividade elétrica do solo, sugerindo uma possível salinização a partir de elevadas taxas de aplicação de urina.

**Palavras-chave:** mamona, urina, uso na agricultura.

## USE OF HUMAN URINE AS NATURAL FERTILIZER IN CASTOR BEAN CROP

---

### ABSTRACT

This research aimed to analyze the performance of castor cultivar BRS Northeastern in terms of productivity and growth when fertilized with human urine, as well as assess the impact of bio-fertilizer in the soil. The design of the experiment was randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments were: T1 - irrigation with raw water and chemical and organic fertilization, T2 - with raw water irrigation and application of lime and urine at the recommended dose, T3 - irrigation with raw water and application of urine at the recommended dose; T4 - irrigation with raw water and application of 0.5 urine of the recommended dose and T5 - irrigation with raw water and application of 1.5 urine recommended dose. Concerning plant height and stem diameter, there was no significant difference ( $p > 0.05$ ) when comparing the treatments T1, T2 and T5. Moreover, chemical fertilization was capable of generating significant increases ( $p < .05$ ) in the number of racemes compared to urine, reaching an average of 35% higher than T5, which had the second best result. With regard to the thousand seed weight parameter, there was no significant difference amongst the treatments. The chemical fertilizer (T1) responded significantly and reached the highest productivity ( $p < 0.05$ ) at the end of the cycle. The average productivity of castor seed were: 1256.7, 1048.5, 671.8, 477.8 and 1081.2 kg ha<sup>-1</sup>, which represents the relative differences between the control treatment (1256.7 kg . ha<sup>-1</sup>) and the other treatments investigated, equal to 16.6, 46.5, 61.9 and 13.9% respectively for T2, T3, T4 and T5. Seed-oil concentrations were: 55.9, 53.6, 55.5, 54.2 and 55.4% for T1, T2, T3, T4 and T5, respectively, without showing significant effect ( $p > 0.05$ ). Regarding physical and chemical soil attributes, it was not possible to observe significant differences before and after castor bean plantation. However, the results indicated that the higher the dose of urine applied, the greater the soil electrical conductivity, suggesting a possible salinity from high application rates of urine.

**Keywords:** castor, urine, reuse.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. *A matriz energética e o desenvolvimento sustentável*

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Isto se deve, basicamente, pela facilidade de exploração e de transporte destas matérias primas, as quais têm assegurado, por décadas, o suprimento de fontes energéticas em todos os países. Todavia, considerando a oferta limitada das fontes não renováveis, os seus preços elevados nos últimos anos, os severos impactos ambientais gerados por estes, a preocupação crescente com as potenciais alterações climáticas associadas, as dúvidas sobre o volume das reservas conhecidas e sua longevidade em face do crescente consumo mundial e também pela incerteza quanto à garantia da oferta, formou-se nos últimos anos um movimento irreversível pela busca de fontes alternativas e limpas para a geração energética com base em recursos de origem renovável, promovendo sistemas econômicos mais sustentáveis (FERNANDES *et al.*, 2010; FERRARI *et al.*, 2005; REIS *et al.*, 2005).

Diversas são as formas de geração de energia que traduzem em suas principais características a predominância pela implantação de um modelo sustentável de desenvolvimento. Os óleos vegetais (de soja, o dendê, mamona, etc.), a energia solar (térmica e fotovoltaica), a energia eólica são apenas alguns exemplos clássicos. Dentre todas as alternativas que fogem do convencional para o suprimento de energia no Brasil, os combustíveis derivados de biomassa têm despertado grande interesse por serem renováveis, e, além disso, neutros ou superavitários na emissão de dióxido de carbono por não impactarem o meio ambiente (REIS *et al.*, 2005).

As fontes de energias renováveis, em sua maioria, não apenas apresentam características de reposição pela natureza bem mais rápida do que sua utilização energética, mas também devem ser aproveitadas de forma descentralizada, conforme as potencialidades e particularidades de cada região e de acordo com as necessidades e capacidades dos territórios. Ou seja, a necessidade de regionalização da matriz energética (COSTA, 2010; REIS *et al.*, 2005).

Ressalta-se que a elaboração de uma matriz energética confiável deverá considerar o setor energético de uma forma integrada com outros setores fundamentais para o desenvolvimento do país, criando condições de atrelar a utilização dos recursos com a busca da prática do desenvolvimento sustentável (REIS *et al.*, 2005). De acordo com Costa (2010), para se alcançar à sustentabilidade, é indispensável que se criem e apliquem mecanismos

pelos quais a expansão dos sistemas e a escolha das fontes de energia independa das atuais estruturas de custos e passem a ser regidas por critérios ligados aos impactos provocados sobre o meio ambiente, pela produção e consumo de energia.

Ainda existem dúvidas no meio científico quanto aos benefícios ambientais envolvidos na adoção da utilização de biocombustíveis para geração de energia. Enquanto vários autores citam que os biocombustíveis são benéficos no que tange a emissão de gases de efeito estufa, como exemplo o CO<sub>2</sub>; a depleção dos recursos naturais pela possibilidade de utilização de diversos produtos e subprodutos agrícolas pode tornar-se desvantajosa, quando se avaliam a eutrofização da água e o gasto energético para produção dos fertilizantes (MALÇA *et al.*, 2003; FERNANDES *et al.*, 2010; VAZ; SAMPAIO, 2008).

Contudo, de acordo com Sallet; Alvim (2011), o uso de biocombustíveis tem aumentado no Brasil ao longo dos últimos anos e sua participação na matriz energética nacional deverá ser ainda maior de acordo com projeções do Ministério de Minas e Energia.

### **1.2.Utilização da urina como fertilizante natural em culturas energéticas**

Poucos são os trabalhos publicados sobre o uso da urina humana como fertilizante em culturas energéticas. As pesquisas e os projetos até hoje desenvolvidos estão concentrados na Europa, África e Ásia, principalmente na África do Sul, Suécia, Holanda, Alemanha, Áustria, Suíça e China (WAFLE;WERNER, 2008). Um exemplo é o projeto piloto em Anderen, pequena cidade na Holanda, onde a urina de 25 sanitários separadores localizados em residências familiares e em oficinas é utilizada como fertilizante nestas culturas (GRONTMIJ, [200-]).

No Brasil, a Universidade Federal do Ceará desenvolveu inúmeras pesquisas com o reúso de esgotos na agricultura, em que a mamona e o girassol foram culturas de destaques aplicadas no solo cearense (SALES, 2008; SOUZA, 2006; FREITAS, 2011; ARAUJO, 2009; CARLOS, 2009).

Além da UFC, vários projetos no tema de reúso de esgotos também foram desenvolvidos por outras universidades e institutos de pesquisas, podendo-se citar os trabalhos de Costa *et al.* (2009), Nascimento *et al.* (2006); e Rodrigues *et al.* (2009) da Universidade Federal de Campina Grande; Souto *et al.* (2005) e Lobo; Filho (2007), da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Estadual Paulista; Lemos (2011) da Universidade Federal Rural do Semiárido, dentre outros.

Apesar da existência desses programas, recursos e projetos direcionados para o reúso de águas residuais, o mesmo não se verifica com tanta intensidade no reúso de excretas. Na pesquisa bibliográfica realizada pelo autor, não foi encontrado qualquer trabalho nacional a respeito do uso de excretas para produção de culturas oleaginosas. Entretanto, foram localizados inúmeros artigos a respeito do uso de urina bovina nestas culturas. Segue adiante, a tabela 4.1 com as principais bibliografias sobre o assunto.

Percebe-se, nitidamente, a partir desta tabela, que a urina de vaca desperta interesse na avaliação do seu uso como fertilizante. Outros trabalhos que demonstram este interesse são as cartilhas e manuais publicados, principalmente, por Secretarias Estaduais de Agricultura e Empresas de Pesquisa Agropecuárias, onde preconizam a urina da vaca como fertiprotetores, pois além de fornecer os nutrientes às plantas, influenciando positivamente no processo metabólico das mesmas, esta também contribui para o controle de parasitas (PESAGRO-RIO, 2002; FERNANDES *et al.*, 2008).

Tabela 4.1 - Principais bibliografias sobre uso de urina animal em culturas oleaginosas.

<b>Tipo de cultura</b>	<b>Tipo de urina</b>	<b>Objetivo da Pesquisa</b>	<b>autor</b>
Girassol ( <i>Helianthus annus L.</i> )	Vaca	Determinar o acúmulo de fitomassa	Ferreira <i>et al.</i> (2011)
Pinhão manso ( <i>Jatropha curcas L.</i> )	Vaca	Controle agroecológico do ácaro branco	Silva <i>et al.</i> (2011)
Mamoneira ( <i>Ricinus communis L.</i> )	Vaca	Avaliar a melhor dosagem de urina	Souza <i>et al.</i> (2010a)
Mamoneira ( <i>Ricinus communis L.</i> )	Vaca	Avaliar injúrias nas folhas da mamona	Oliveira <i>et al.</i> (2008)
Pinhão manso ( <i>Jatropha curcas L.</i> )	Vaca	Avaliar injúrias nas folhas do pinhão manso	Oliveira <i>et al.</i> (2008)
Mamoneira ( <i>Ricinus communis L.</i> )	Vaca	Avaliar a fitomassa da epígea e hipógea	Souza <i>et al.</i> (2010b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

### 1.3. A cultura da mamona

A mamona, denominada cientificamente por *Ricinus communis L.*, é uma planta oleaginosa arbustiva pertencente à família Euphorbiaceae (RODRIGUES *et al.*, 2002), sendo considerada uma espécie heliófila e xerófila (TÁVORA, 1982). A mamoneira, por apresentar alto teor de óleo na semente, possui uma elevada importância, principalmente, nos países

tropicais, os quais são, em sua maioria, países em desenvolvimento. Apesar de impróprio para consumo humano, este óleo apresenta utilidade só comparável a do petróleo, com a vantagem de ser renovável. Além da sua maior aplicabilidade que é para produção do biodiesel, a mamona é utilizada para os mais diversos fins, sendo matéria-prima para as indústrias médica, cosmética, de tintas e vernizes, de lubrificantes para navios e aviões, dentre outras (SOUZA, 2007; SAVY FILHO, 1999; BELTRÃO, 2001). Ademais, a mamona se destaca, também, por ser uma cultura de grande apelo social, pois pode ser cultivada com outras culturas, como feijão, amendoim, milho, entre outros (BRAGA *et al.*, 2008; VANGUARDA AGRO, 2010).

De acordo com Beltrão; Silva (1999), a mamoneira é uma espécie de elevada complexidade morfológica e fisiológica, que produz, em média, três importantes ordens de racemos denominados de primários, secundários e terciários. Segundo Távora (1982), o racemo primário é o maior de todos, apresentando comprimento com valores entre 10 e 80cm e quantidade de frutos variando entre 15 e 80 dependendo do ambiente, cultivar ou da ordem considerada.

No Brasil, a mamona é uma cultura promissora para o desenvolvimento agrícola sustentável, onde já ocupa destaque no agronegócio brasileiro (MENDES, 2005). Devido à sua baixa demanda hídrica, a mamona possui uma posição de destaque no nordeste brasileiro, concentrando mais de 90% da produção nacional (VIEIRA; LIMA, 2008).

#### **1.4. Mamona para produção do Biodiesel**

Os óleos vegetais refinados são os graxos mais usados como matéria-prima para produzir o biodiesel. No entanto, conforme César; Batalha (2010), o uso do óleo da mamona como biodiesel é um paradoxo, visto que seu preço é maior do que de outros óleos vegetais, sendo ainda bem superior ao preço do diesel mineral.

Entretanto, os benefícios ambientais e sociais podem ser citados como as mais importantes motivações para produção e uso de biodiesel. Quanto aos aspectos ambientais, o biodiesel se destaca expressivamente pela redução da emissão de poluentes. Quando comparado ao óleo diesel derivado de petróleo, o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas. Além disso, reduz em 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre (LIMA, 2004; AMORIM, 2005). Ainda citando vantagens ambientais, o biodiesel é praticamente isento de enxofre e compostos aromáticos, além de possuir uma maior biodegradabilidade (SANTOS *et al.*, 2007).

Dentre os vários tipos de óleos de sementes, a mamona foi identificada como ideal para promover o desenvolvimento social na região Nordeste do Brasil (BRASIL, 2005; FREITAS; FREDO, 2005). De acordo com IICA (2007), Xavier *et al.* (2009) e Souza *et al.* (2010c), sua implementação e produção de baixo custo, sua resistência ao estresse hídrico, seu fácil cultivo, além de poder proporcionar ocupação e renda no meio rural, têm demonstrado que o óleo da mamona possui excelentes características que se adequam às condições adversas de clima e solo da região semiárida do Brasil.

Desde 2004, a agricultura familiar vem sendo fortalecida com o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), o que resulta atualmente (maio de 2012) em 37 empresas com o Selo Combustível Social, estimulando e fortalecendo aproximadamente 54.000 famílias produtoras de oleaginosas em todo o território nacional (MDA, 2012; IICA, 2009). Nesse sentido, cabe destacar a significativa evolução das aquisições de mamona, em sua maioria no Nordeste e Semiárido, que passaram de R\$ 5,1 milhões em 2008 (1,8% do total) para R\$ 26,7 milhões em 2009 (3,8% do total) e para R\$ 46,3 milhões em 2010 (4,4% do total).

O óleo da mamona possui algumas restrições tecnológicas, principalmente, no que diz respeito à sua viscosidade, pois segundo César; Batalha (2011), é difícil adequar este óleo às características exigidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Quanto à sua produção, também existem deficiências. Ainda conforme César; Batalha (2011), os pequenos agricultores não aplicam fertilizantes químicos nas plantações devido ao risco do investimento. Os fertilizantes são imprescindíveis para uma adequada produtividade, visto que a mamona, em sua maioria, está sendo plantada em solos de baixa fertilidade.

A substituição completa dos combustíveis fósseis não é considerada como atingível, mesmo assim, os biocombustíveis modernos possuem um papel preponderante na redução das implicações da emissão de gases causadores do efeito estufa, podendo contribuir ainda para a transição do pensamento da sociedade em direção à utilização de fontes energéticas mais sustentáveis (NOGUEIRA, 2011).

Sob outra perspectiva, Vaz e Sampaio (2008) afirmam que o biodiesel é uma fonte de energia renovável que pode ser utilizada chegando a substituir total ou parcialmente o diesel proveniente do petróleo.

Já segundo Sallet e Alvim (2011), o que sustenta o setor do biodiesel é sua obrigatoriedade determinada pelo PNPB, pois este é mais caro que o diesel; se o biodiesel fosse mais competitivo não haveria essa necessidade, e sendo mais competitivo deixaria de

ser um complemento ao diesel, passando a exercer um papel mais importante na matriz energética.

O presente capítulo desta tese teve como objetivo avaliar a possibilidade do uso da urina humana na produção da cultura energética mamona cultivar BRS Nordeste, por meio do estudo e comparação de variáveis de crescimento e de produção, bem como avaliar o impacto da aplicação deste biofertilizante em solo semiárido.

Enfatiza-se a importância da pesquisa quanto à particularidade dos experimentos realizados em campo, a fim de coletar dados que representem da melhor forma a realidade do agricultor. Caso a pesquisa fosse realizada em casa de vegetação (experimentos em jarro) não seria possível obter valores de produtividade da mamoneira a partir das reais condições ambientais (radiação solar, precipitação, temperatura, umidade, etc.) e das inúmeras variáveis que afetam diretamente o plantio de campo.

Da mesma maneira, justifica-se o mérito da caracterização dos atributos físico-químicos de um solo com potencial de salinização a fim de avaliar o impacto da urina e a resposta deste substrato a curto prazo.

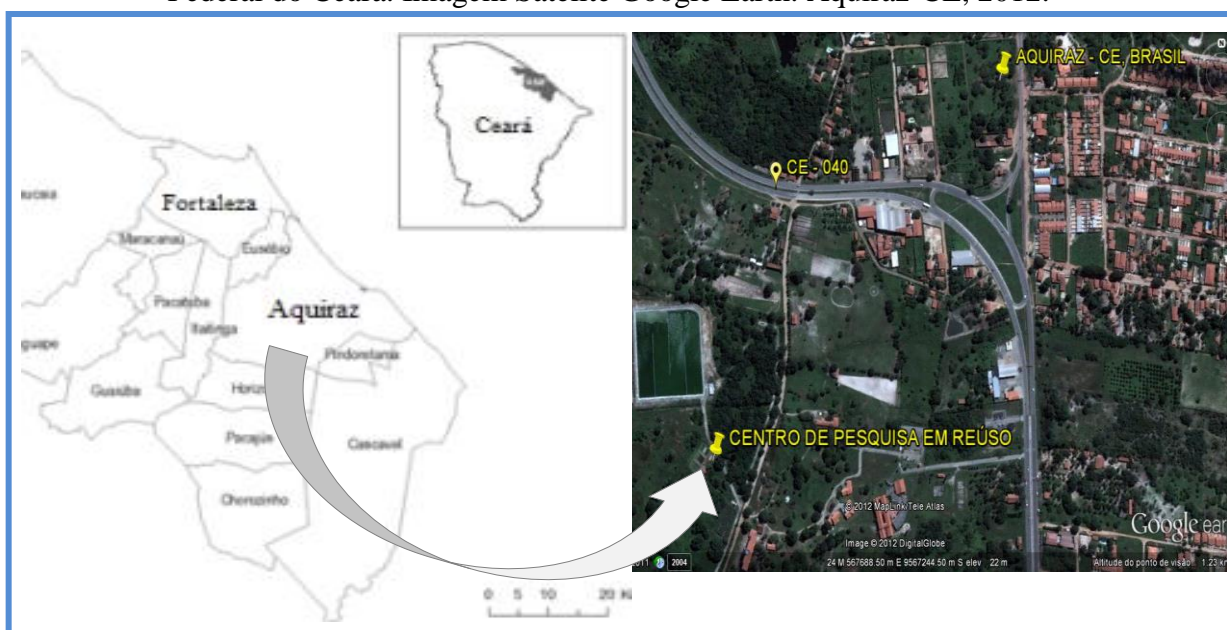


## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de outubro de 2010 a abril de 2011 em uma área anexa à estação de tratamento de esgotos do município de Aquiraz, na região metropolitana de Fortaleza, pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, cujas coordenadas geográficas de referência são: 3° 54' 05" de Latitude (S), 38° 23' 28" de Longitude (W) e 14,2 m de altitude (ver figura 4.1). O projeto desta área foi desenvolvido pela CAGECE e pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Figura 4.1 – Mapa de localização do centro de pesquisa em reúso da Cagece/ Universidade Federal do Ceará. Imagem Satélite Google Earth. Aquiraz-CE, 2012.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

#### 2.1.1. Clima

O clima é caracterizado, segundo a classificação de Köppen, como sendo do tipo Aw, tropical (inverno seco e verão úmido), clima quente e úmido com chuvas de verão, durante os meses de janeiro a maio. As temperaturas médias mensais estão entre 26 °C e 28 °C e a pluviosidade média anual é 1.379,9mm (BRASIL, 1973; IPECE, 2011).

### 2.1.2. Solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (EMBRAPA, 2006). Esse tipo de solo apresenta limitações decorrentes da fertilidade natural e da textura arenosa em superfície.

Antes da implantação do experimento, amostras compostas de quatro pontos aleatórios foram retiradas para determinação dos atributos físicos e químicos, nas camadas de 0-20 e 20-40cm, utilizando-se para tanto uma cavadeira articulada (boca de lobo) de 1,2 m e sacos plásticos devidamente identificados (figura 4.2). As características físico-químicas das amostras de solo antes da aplicação dos tratamentos adotados foram determinadas no Laboratório de Análises de Solos e Águas do Departamento de Solos da UFC.

Figura 4.2 – Coleta de amostras de solo antes do experimento. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

## 2.2. Delineamento experimental e tratamentos empregados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e quatro repetições. A área de plantio foi subdividida em quatro blocos medindo 70m<sup>2</sup> (7m x 10m), com espaçamento entre plantas de 1,00m e espaçamento entre linhas de

2,00m. Foram reservadas ainda as linhas laterais, as quais serviram como bordaduras. Conforme visualizado na figura 4.3, cada bloco continha 5 linhas de plantio com 7 plantas, onde os tratamentos eram aplicados em um total de 168 plantas na área de plantio. A área total do experimento foi de 336 m<sup>2</sup> (14m x 24m) e a área útil considerando apenas as parcelas foi de 224 m<sup>2</sup>.

Foram estudados 5 tipos de tratamento: T1 - irrigação com água bruta e adubação química e orgânica; T2 - irrigação com água bruta e aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 - irrigação com água bruta e aplicação de urina na dose recomendada; T4 - irrigação com água bruta e aplicação de 0,5 de urina da dose recomendada e T5 - irrigação com água bruta e aplicação de 1,5 de urina da dose recomendada.

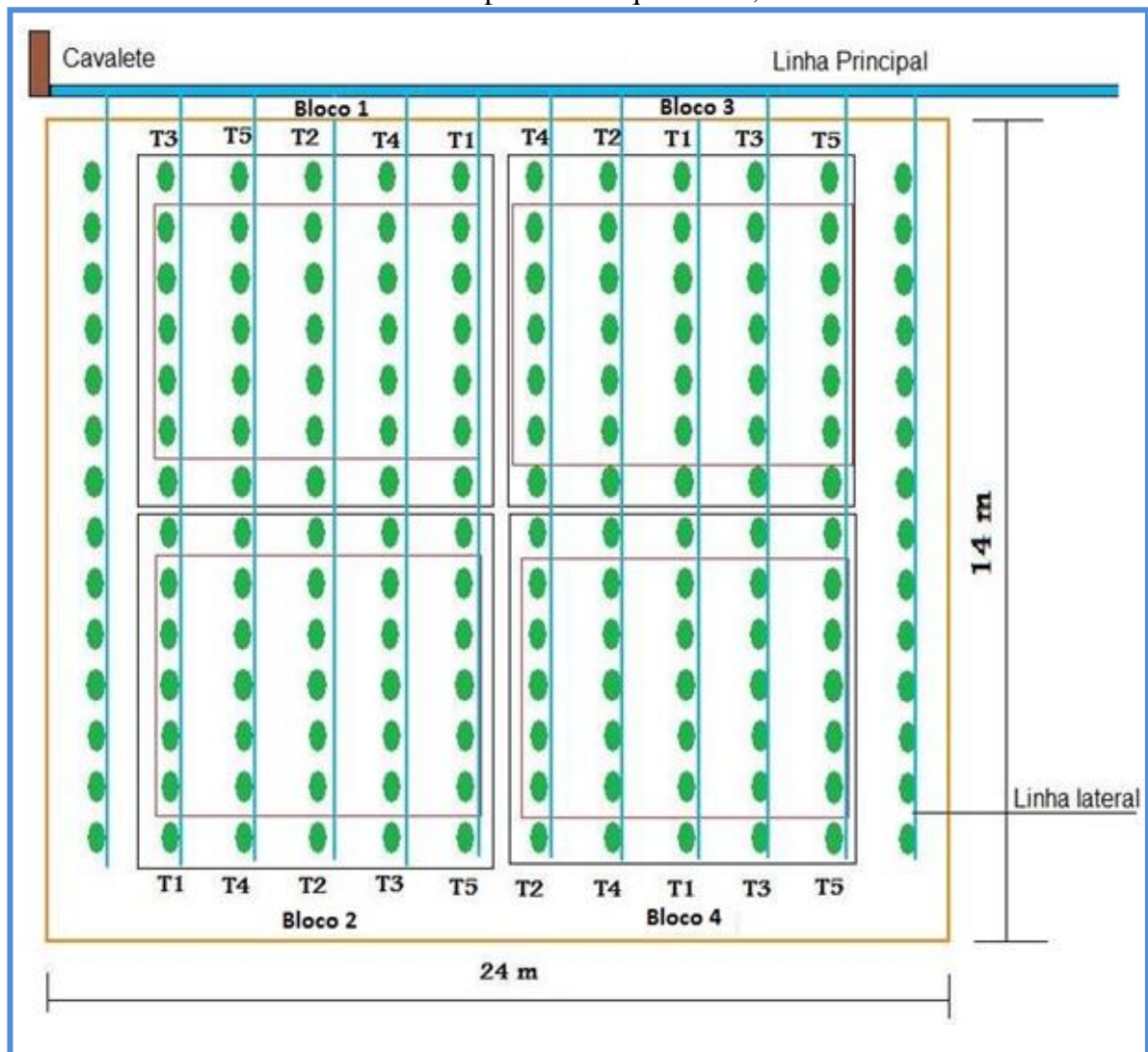
A aplicação da urina no solo tinha como objetivo exclusivo prover os compostos necessários para o desenvolvimento das plantas. Portanto, todos os tratamentos receberam água bruta de poço como fonte hídrica. Os tratamentos adotados na pesquisa estão descritos na tabela 4.2 e a caracterização físico-química da água do poço na tabela 4.3.

Tabela 4.2 - Tratamentos aplicados no cultivo da mamoneira. Aquiraz-CE, 2010.

<b>Tratamento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo de fertilizante</b>
<b>T1</b>	Controle: adubação orgânica e fertilizante químico	Orgânico (Esterco curtido) e Químico (Uréia, Superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE BR12)
<b>T2</b>	Urina mais calcário dolomítico	Natural (urina) e químico (Calcário dolomítico)
<b>T3</b>	Urina	Natural (urina)
<b>T4</b>	Metade da dose de urina	Natural (urina)
<b>T5</b>	1,5 da dose de urina	Natural (urina)

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Figura 4.3 – Croqui da área de plantio, linhas principal e secundárias e esquema dos tratamentos aplicados. Aquiraz-CE, 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Tabela 4.3 - Características físico-químicas da água utilizada na irrigação da mamona. Aquiraz-CE, 2010.

Parâmetros	Análise	Unidade	Água Bruta
<b>Físico</b>	Temperatura	°C	28,00
	pH		6,80
<b>Químico</b>	Condutividade	µS/cm	328,00
	Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	28,00
	Amônia	mgNH <sub>3</sub> /L	0,40
	Nitrato	mg/L	<0,5
	Norg	mg/L	0,60
	Fósforo	mg/L	0,30
	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	46,00
	Cloreto	mg-Cl/L	40,00
	Sódio	mg/L	35,00
	Potássio	mg/L	5,00
	Cálcio	mg/L	5,20
	Ferro	mg/L	0,12

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

De posse dos resultados da análise química do solo, realizou-se a recomendação de adubação para a cultura da mamona, tendo como referência as indicações da Universidade Federal do Ceará (1993). No tratamento 1 (T1), utilizaram-se dois tipos de adubos: químico e orgânico. Os valores aplicados para o adubo químico foram os seguintes: 60 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, correspondendo a 27 gramas de ureia por cova; 80 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo, representado por 70 gramas de superfosfato simples, e 60 kg.ha<sup>-1</sup> de potássio, ou seja, 20 gramas de cloreto de potássio. Quanto ao adubo orgânico, foi aplicado esterco curtido na taxa de 5,0 litros por cova.

A fertilização de T1 foi realizada de modo convencional em covas, e por ocasião do plantio aplicou-se em fundação todo o fósforo e potássio recomendado, enquanto a aplicação do nitrogênio foi parcelada em três vezes, 1/3 em fundação e 1/3 aos 60 e 1/3 aos 90 dias em cobertura. Foi utilizado, ainda, como agente corretivo do pH o calcário dolomítico, na taxa de 50 gramas por cova. Como fonte de micronutrientes, foi selecionado o produto FTE BR 12, sendo aplicada a quantidade de 15 gramas por cova.

### 2.3. Cálculo da demanda de urina e aplicação

Com a caracterização físico-química mostrada no capítulo 3, foi possível calcular o volume de urina a ser aplicado por cova, a partir da demanda nutricional da cultivar, constituindo de 12gN/planta, ou 60kg.ha<sup>-1</sup>, a mesma adotada para T1.

Utilizando a média de 5638,5mgN/L e adotando uma perda por volatilização da amônia de 25% no momento da aplicação, o volume determinado foi de 2,93L/planta e arredondado, por conveniência, para 3,0L/planta em T2 e T3. A adoção do nitrogênio no cálculo do volume foi motivada pela recomendação de Jönsson *et al.* (2004). Estes autores afirmam que a taxa de aplicação deve ser baseada na demanda de nitrogênio da cultura, e caso não existam informações disponíveis para os devidos cálculos, pode-se utilizar a taxa de 3 a 7g/L.

A aplicação foi realizada despejando o líquido uniformemente sobre um arco previamente cavado no solo e distante de 5 a 8 cm do caule das plantas, conforme visualizado na figura 4.4. A urina era lançada a uma altura de aproximadamente 3 a 5 cm, para minimizar a perda de amônia para o ar.

Figura 4.4 – Método de aplicação direta da urina na mamoneira. Aquiraz-CE, 2011.



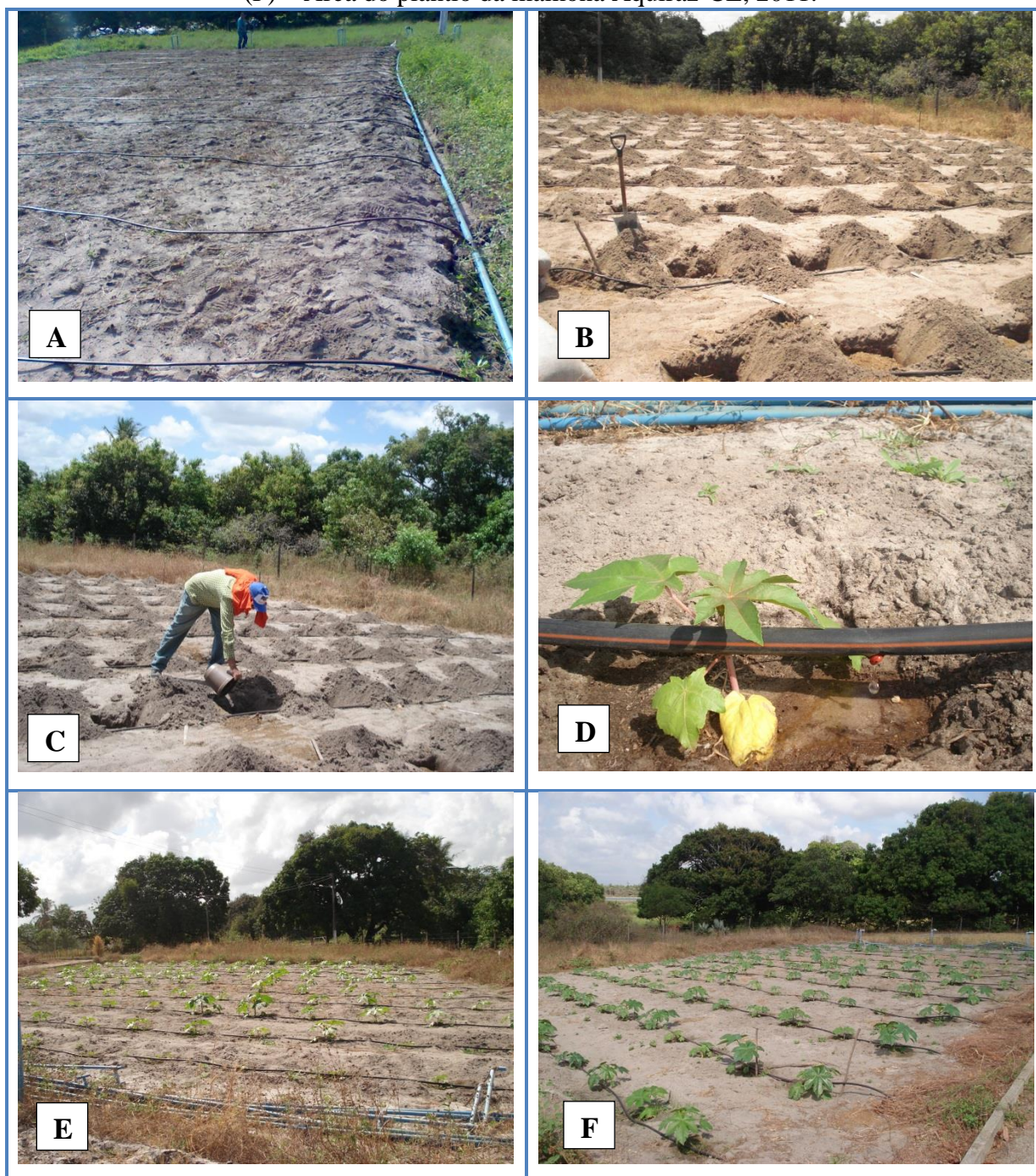
Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

A urina foi adicionada ao solo em três parcelas, 1/3 aos 60 dias, 1/3 aos 90 e 1/3 aos 120 dias após o plantio, em cobertura. O que distinguiu os tratamentos foram os volumes, com exceção de T2 e T3, onde foram aplicados os mesmos volumes (3,0 L), diferenciando-se apenas a adição de calcário dolomítico (50g) em T2. Para T4 e T5, os volumes totais foram: 1,5 e 4,5 litros, respectivamente.

#### **2.4. Manejo da irrigação**

A área cultivada com mamona foi irrigada por gotejamento, sistema selecionado por ser um dos mais utilizados pelos agricultores rurais. Os gotejadores possuíam a vazão de  $2,2\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$  (figura 4.5). O tempo real de irrigação por turno de rega de um dia foi de aproximadamente 1 hora, definido a partir do estudo de evaporação, tendo como base de dados o tanque classe A instalado no local. As linhas laterais e secundárias foram constituídas de tubos de polietileno com diâmetro de 16mm e a linha principal de PVC de 50mm (figura 4.5). No início da linha principal foi instalado um cavalete com micromedição e registro de gaveta para controle do fluxo de água.

Figura 4.5 – Mosaico de imagens do plantio da mamona. (A) – Linha principal e secundárias do manejo de irrigação. (B) – Abertura de covas para adubação. (C) – aplicação do calcário dolomítico. (D) – detalhe da linha secundária e gotejador. (E) – Área do plantio da mamona. (F) – Área do plantio da mamona Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

## 2.5. Semeadura e tratos culturais

A cultivar utilizada foi a “BRS 149 Nordestina”, a qual foi desenvolvida pela Embrapa em convênio com a Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (EBDA). De



acordo com Souza (2007), essa cultivar possui porte médio com aproximadamente 1,90 m de altura em regime de sequeiro, caule com coloração verde ceroso e nodoso, racemo de forma cônica e sementes de coloração preta, com peso médio de 0,68g.unidade<sup>-1</sup>.

Foram semeadas 3 sementes e, ao completar 20 dias de emergência, foi feito o desbaste das plantas menos desenvolvidas e defeituosas, deixando apenas uma planta em cada local de semeio.

Não houve necessidade de controle fitossanitário durante a condução do experimento. Para o controle de plantas daninhas foram efetuadas três capinas manuais nos dias 26 de novembro de 2010, 21 de dezembro de 2010 e 28 de janeiro de 2011, mantendo-se a lavoura livre destas ervas durante os primeiros noventa dias após a emergência.

## **2.6. Colheita e beneficiamento**

Foram feitas várias colheitas ao longo do ciclo da cultura, utilizando-se um alicate de poda e sacos de papel. Os racemos foram colhidos quando 2/3 dos frutos estavam maduros. Em seguida, foram identificados, separados por tratamento, repetição e ordem, e colocados para completar a secagem no secador do Laboratório de Análises de Sementes do Centro de Ciências Agrárias/UFC, a uma temperatura controlada de 40°C por um período de 2 dias.

Depois da secagem os racemos foram contados e pesados separadamente para cada tratamento, repetição e ordem. O beneficiamento dos frutos foi feito de forma manual após serem separados da raque.

## **2.7. Variáveis de crescimento avaliadas**

As análises de crescimento foram realizadas aos 45, 90, 120 e 150 dias após a semeadura (DAS), totalizando quatro épocas de amostragem. Foram quantificadas as variáveis: diâmetro da haste na altura do colo denominado diâmetro do caule (DC), altura da planta (AP) e número de racemos (NR).

### **2.7.1. Altura de plantas**

A altura da planta foi determinada a partir de medições nos quatro períodos de amostragem, considerando-se para tanto a distância vertical, em metros, do nível do solo até a

altura da folha mais nova, com o auxílio de uma trena graduada com comprimento total de 3,0 metros.

### 2.7.2. Diâmetro do caule

O diâmetro caulinar foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital marca Panambra – Pantec (0-200mm) com precisão de 0,01mm. Foi padronizado realizar a medição do diâmetro sempre rente ao solo.

### 2.7.3. Número de racemos

O número de racemos foi levantado por meio de uma contagem da quantidade de racemos em todas as plantas úteis contidas na área experimental, durante os quatro períodos de amostragem, anteriormente citados.

### 2.7.4. Taxas de crescimento absoluto e relativo (TCA, TCR)

Utilizando-se como referência a metodologia proposta por Benincasa (2003), computaram-se as taxas de crescimento dos dados de altura de plantas e diâmetro caulinar, dos quais se obtiveram as taxas de crescimento absoluto em altura (TCAap, TCRap) (equações 4.1 e 4.2, respectivamente) e taxas de crescimento absoluto e relativo em diâmetro caulinar (TCAdc, TCRdc) (equações 4.3 e 4.4, respectivamente).

$$TCAap = \frac{AP_2 - AP_1}{t_2 - t_1} \quad (4.1)$$

$$TCRap = \frac{\ln AP_2 - \ln AP_1}{t_2 - t_1} \quad (4.2)$$

Em que:

TCAap = taxa de crescimento absoluto em altura de plantas (cm.dia<sup>-1</sup>)

AP1 = altura de planta no tempo t<sub>1</sub> (cm)

AP2 = altura da planta no tempo t<sub>2</sub> (cm)

TCRap = Taxa de crescimento relativo em altura de plantas (cm.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)

ln = logaritmo natural

$$TCAdc = \frac{DC_2 - DC_1}{t_2 - t_1} \quad (4.3)$$

$$TCRdc = \frac{\ln DC_2 - \ln DC_1}{t_2 - t_1} \quad (4.4)$$

Em que:

TCAdc = taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar (mm.dia<sup>-1</sup>)

DC1 = diâmetro caulinar no tempo t<sub>1</sub> (mm)

DC2 = diâmetro caulinar no tempo t<sub>2</sub> (mm)

TCRdc = Taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar (mm.mm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)

## **2.8. Variáveis de produção avaliadas**

Os dados das variáveis de produção foram coletados aos 150 dias após a semeadura (DAS). Foram determinados, portanto, os seguintes componentes: comprimento do racemo (CR), número de frutos por racemo (NFR), número de frutos por planta (NFP), peso de frutos por planta (PF), peso de mil sementes (PS), produtividade dos grãos e percentual do extrato etéreo (óleo).

Vale destacar que, para a obtenção das variáveis de crescimento e de produção, todas as plantas das parcelas do experimento foram consideradas.

O descascamento dos frutos foi feito de forma manual, o qual perdurou por duas semanas de trabalhos diários. A seguir, estão descritos os métodos e os instrumentos utilizados para cada variável determinada.

### **2.8.1. Comprimento do racemo**

Para determinação do comprimento do racemo, foram considerados apenas aqueles até a terceira ordem em cada tratamento. As medições foram tomadas na região da raque provida de frutos (ver figura 4.6), nas quais foram feitas utilizando régua milimétrica.

Figura 4.6 – Detalhe de racemos de mamona com a indicação dos limites do comprimento do racemo adotado para medição. Fortaleza-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

#### *2.8.2. Número de frutos por racemo*

Na obtenção do número de frutos por racemos foram considerados aqueles de até terceira ordem, dividindo-se o número total de frutos pela quantidade de racemos produzidos.

#### *2.8.3. Número de frutos por planta*

Os frutos foram contados individualmente em todas as plantas úteis das parcelas no primeiro, segundo e terceiro racemos. Essa leitura foi efetuada após a colheita dos racemos; em seguida, feita a relação entre número de frutos e o número de plantas na parcela.

#### *2.8.4. Peso de frutos por planta*

Após a colheita e destaque das cápsulas, realizou-se a pesagem de todas as cápsulas de cada planta para obtenção da massa média, em balança analítica.

#### *2.8.5. Peso de mil sementes*

O peso de mil sementes foi determinado de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), utilizando-se uma balança analítica com precisão de três casas decimais.

### 2.8.6. Produtividade das sementes

A produtividade dos grãos foi obtida pela pesagem das sementes de cada parcela, em balança analítica, e os resultados expressos para  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

### 2.8.7. Teor de óleo

O percentual do óleo (extrato etéreo) obtido a partir das sementes da mamona foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. A determinação do extrato etéreo foi realizada de acordo com as técnicas descritas por Silva; Queiroz (2002), tendo sido utilizado o hexano como reagente extrator. O cálculo do percentual de extrato etéreo foi efetuado com base na matéria seca desengordurada.

## 2.9. Sistematização dos dados

As variáveis acima descritas e determinadas foram sistematizadas e organizadas em planilhas eletrônicas utilizando o software *Excel* da *Microsoft Office*®.

A planilha foi construída por meio de fórmulas matriciais, sendo possível automatizar todos os resultados de estatística descritiva e inter-relacionar todas as variáveis. Os dados de entrada eram inseridos em oito colunas: bloco/parcela, linha, tratamento, tipo de racemo, comprimento, peso do racemo, peso dos frutos e número de frutos. Com exceção da coluna tipo de racemo, onde o dado de entrada era nominal (primário, secundário, terciário), todas as demais variáveis eram numéricas. Vale ressaltar que todos os racemos colhidos foram analisados e suas informações alimentadas na planilha.

Por meio da sistematização e automação da planilha, foram gerados os seguintes dados: média do comprimento do racemo, relação peso racemo por planta, relação peso de frutos por planta, número de frutos por planta, quantidade do número de frutos por racemo e quantidade de racemos por planta. Todos os valores de médias, mínimos e máximos destas variáveis podem ser gerados tanto por tipo de tratamento (T1, T2, T3, T4 e T5), tipo de racemo (primário, secundário, terciário), quanto por bloco/parcela (blocos 1, 2, 3 e 4).

## 2.10. Avaliação do impacto da aplicação da urina no solo

Foi realizada uma comparação das características químicas entre as amostras de solo dos tratamentos. Para se obter uma amostra representativa, foram coletados sub-amostras com o auxílio de uma boca de lobo. Os pontos sub-amostrais estão mostrados na figura 4.7. Estes pontos foram definidos de forma aleatória através de sorteio, onde o critério básico foi a utilização de dois pontos sub-amostrais por tratamento por bloco. Em seguida, as sub-amostras foram misturadas, e encaminhadas para análise no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC.

Figura 4.7 – Indicação esquemática dos locais (pontos) de coleta de solo do experimento para caracterização físico-química. Aquiraz-CE, 2011.

Borda	T3 (URIN)	T5 (1,5UR)	T2 (UR+Ca)	T4 (0,5UR)	T1 (CON)	T4 (0,5UR)	T2 (UR+Ca)	T1 (CON)	T3 (URIN)	T5 (1,5UR)	Borda
						P6				P10	
		P2							P9		
	P1A			P4			P7				
			P3		P5	P6A		P8	P9A		
			P3A		P5A						
	P1	P2A						P8A		P10A	
				P4A			P7A				
Borda	T1 (CON)	T4 (0,5UR)	T2 (UR+Ca)	T3 (URIN)	T5 (1,5UR)	T2 (UR+Ca)	T4 (0,5UR)	T1 (CON)	T3 (URIN)	T5 (1,5UR)	Borda
	P11						P17				
			P13			P16			P19		
	P11A			P14				P18			
		P12			P15	P16A		P18A			
		P12A		P14A						P20	
							P17A		P19A		
			P13A		P15A					P20A	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Os parâmetros determinados foram: pH em água, condutividade elétrica, cálcio trocável, magnésio trocável, sódio trocável, potássio trocável, acidez potencial, acidez trocável, soma das bases, capacidade de troca de cátions, saturação por alumínio, saturação por bases, matéria orgânica, nitrogênio, relação carbono/nitrogênio e fósforo extraível. As análises foram realizadas pelos métodos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

### **2.11. Análise estatística**

As variáveis de crescimento, os componentes de produção e os parâmetros de solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F a um nível de significância de 1 a 5% e análise de regressão em função do tratamento estudado. Quando verificado efeito significativo na análise da variância, as médias obtidas nos diferentes tratamentos foram comparadas pelo Teste Scott e Knott a um nível de significância de 5%. Por conveniência, foi adotado este teste, considerando ser mais adequado para controlar a taxa de erro tipo I por comparação e por poder detectar pequenas diferenças (de até dois erros padrão) entre médias de tratamentos. As análises estatísticas foram efetuadas empregando-se o software SISVAR, versão 5.3 (Build 77), desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Avaliações das variáveis de crescimento

##### 3.1.1. Altura de plantas, diâmetro de caule, número de racemos.

De forma geral, os resultados das variáveis de crescimento foram proporcionais com o volume de urina e com o tipo de fertilizante utilizado.

Avaliando a variável altura da planta, verificou-se um maior crescimento em T2 (dose de urina recomendada com adição de calcário dolomítico), o qual obteve a média de 222 cm, valor este superior à T1 (fertilização química); T3 (dose de urina recomendada); T4 (metade da dose de urina recomendada) e T5 (1,5 a dose de urina recomendada) em: 8,7; 13,5; 22,7 e 2,1%, respectivamente. Os valores encontrados ficaram acima da média da cultivar BRS Nordestina (1,90m), Embrapa Algodão (2002), com exceção de T4 com 1,71m.

Pesquisas com o reúso de efluentes e lodos de esgoto têm apresentado resultados satisfatórios no crescimento das plantas em comparação com a fertilização química. Aplicando 15, 30, 45 e 60 t.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto como adubo na cultivar AL Guarany 2002, Nascimento *et al.* (2011) observaram os seguintes valores médios de altura da planta: 151, 175, 193 e 186 cm, respectivamente; e quando comparados com a altura alcançada pela adubação química (178cm), evidenciou o potencial do lodo de esgoto no crescimento da mamoneira. O mesmo foi verificado para a variável diâmetro do caule.

Barros Júnior (2007) irrigando mamona Nordestina com água de abastecimento humano constatou que a altura média final (180 DAS) das mamoneiras que não foram submetidas ao estresse hídrico chegou a 1,28 m. Rodrigues *et al.* (2009) trabalhando com esgoto bruto com concentração de nitrogênio total entre 25,68 e 39,07 mg/L, obtiveram a média de 1,49m em 174 DAS.

As alturas médias de todos os tratamentos foram superiores aos estudos acima mencionados, podendo ser atribuídas ao maior aporte de nutrientes presentes na urina. Entretanto, Diniz Neto *et al.* (2008) em pesquisa com diferentes doses de adubação química aplicados no município de Pentecoste, Ceará, alcançaram médias acima de 3,20m, valor 30% superior quando comparado ao melhor resultado obtido (T2). Semelhantemente, Santos *et al.* (2011) comparando dois níveis tecnológicos (sem irrigação e adubação e com correção, adubação e preparo do solo) obtiveram médias de altura e de diâmetro caulinar ainda superiores (240 a 384cm e 42 a 58,2 mm, respectivamente) ao final de 186 DAS. De certa



forma, os elevados valores de crescimento encontrados por estes autores, podem não traduzir ganhos quanto à produtividade, pois o gasto de energia para formação de folhas e caules compete com a produção de sementes, comum nos casos com fornecimento excessivo de água e fertilizantes de forma desequilibrada (SEVERINO *et al.*, 2006a; SANTOS *et al.*, 2011).

Para o diâmetro do caule (DC), T5 com o valor de 39,73mm ao final de 150 DAS superou os demais tratamentos, T1, T2, T3 e T4, respectivamente em: 8,4; 6,4; 17,5 e 27,7%.

Os resultados de DC foram semelhantes aos obtidos por outros estudiosos. Nas pesquisas de Rodrigues *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2004) com aplicação de águas residuárias, os valores de DC foram superiores a 32mm, enquanto Barros Júnior (2007), utilizando água de abastecimento encontrou resultados abaixo de 25mm. Por outro lado, o diâmetro caulinar das plantas que receberam adubação química na pesquisa de Severino *et al.* (2006a) ficou acima de 40mm, que segundo os autores, foi motivado pelo excessivo crescimento vegetativo, provocado pela quantidade de nutrientes. As diferenças ocorridas entre estes estudos se devem, essencialmente, ao aporte de nutrientes da água residuária e da adubação química, e no caso desta pesquisa, da urina humana.

Já para a variável número de racemos, T1 forneceu o melhor resultado, onde atingiu a média de de 6,00 racemos por planta ao final de 150 DAS, sendo de 1,0 para o primário; 3,35 para o secundário e 1,88 para o terciário. O T5 forneceu a segunda maior média, de 1,0 racemo para o primário; 2,68 para o secundário e 1,83 para o terciário. Apesar de T4 não ter apresentado nenhum racemo terciário, T3 obteve a menor média com 3,65 racemos.

De um modo geral, o número médio de racemos foi equivalente ao informado por Embrapa Algodão (2002) quando em condições de sequeiro produziu 5,2 racemos. Segundo classificação proposta por Nóbrega *et al.* (2001), todos os tratamentos apresentaram uma classificação “média”, variando entre 3 e 7 o número de racemos. Em ordem crescente, o número médio de racemos por planta foi igual a 3,51; 3,65; 4,48; 5,42 e 6,00, respectivamente, para T3, T4, T2, T5 e T1.

De acordo com Santos *et al.* (2004), o crescimento da mamoneira é prejudicado quando cultivada em solo com baixos teores de nutrientes, haja vista que esta planta demanda grande quantidade de nitrogênio para se obter crescimento e produção viáveis.

Os resultados alcançados por T3 indicam que o volume de urina utilizado não foi suficiente para suprir de forma eficaz a demanda da mamoneira. Apesar de todo o cuidado adotado, acredita-se que ocorreu a volatilização do nitrogênio na forma amoniacal, e isto foi

essencial para o baixo desempenho de T2 e T3, visto que T5 em comparação à T3 respondeu melhor para todas as variáveis estudadas.

Conforme Stintzing *et al.* (2002), se a fertilização da urina for realizada cuidadosamente e no tempo adequado, com sua aplicação direta no solo, a cultura é capaz de absorver quase todo o nitrogênio. Em consonância, Jönsson *et al.* (2004) afirmam que a amônia na urina está prontamente disponível para as plantas e é um excelente fertilizante, visto que a ureia e o íon amônio são as duas formas de fertilizantes a base de nitrogênio mais utilizados no mundo.

Ponderando que o percentual de amônia volatilizada, quando utilizadas técnicas de fertilização apropriadas, é muito pequeno, com médias abaixo de 10% (HEINONEN-TANSKI; WIJK-SIBESMA, 2005 e JÖNSSON *et al.*, 2004), acredita-se que a perda da amônia foi motivada por uma evaporação durante o manuseio e o transporte da urina, descartando a possibilidade de volatilização em massa durante a etapa de fertilização.

Destaca-se que antes de cada aplicação, foram realizadas transferências da urina de recipientes maiores (bombonas de 100L) para um recipiente de menor capacidade equipado com torneira a fim de facilitar o enchimento das garrafas (figura 4.8) previamente aferidas com os volumes definidos para cada tratamento. Foi constatado durante a transferência do líquido um odor bastante irritante chegando a causar tonturas, o que obrigou os pesquisadores e ajudantes a usarem máscaras de proteção de gases, conforme figura 4.8.

Figura 4.8 – Preparo da urina para aplicação. (A) – Bombona de 50 litros equipado com torneira. (B) – Transferência da urina do recipiente de armazenamento para o recipiente de aplicação. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

A partir das constatações de Heinonen-Tanski; Wijk-Sibesma (2005) e Basso (2003), onde afirmam que a volatilização da amônia é acompanhada de um odor característico e que os percentuais de perda da amônia de dejetos líquidos de suínos podem variar entre 15 a 45%, crê-se que o procedimento utilizado para o transporte favoreceu o contato da urina com o ar e quando aliado às altas temperaturas presentes no Ceará resultaram em uma evaporação do nitrogênio amoniacal em torno de 45%.

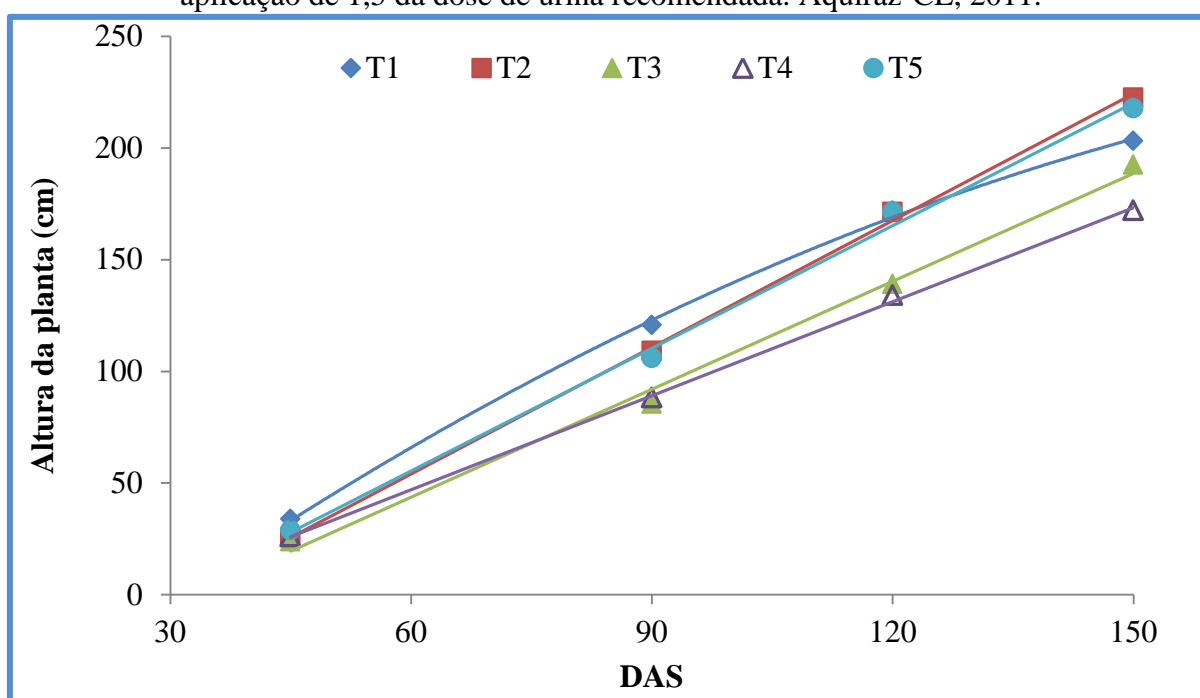
Avaliando o comportamento da curva de crescimento, Souza *et al.* (2010c) encontraram após 100 dias de ciclo, valores superiores a 190cm de altura da planta quando se aplicou a irrigação com esgoto tratado e adubação do solo. Independente do tratamento aplicado, os autores verificaram que as curvas obtidas se ajustaram ao modelo de regressão não linear com comportamento exponencial.

Nascimento *et al.* (2004a) verificaram ajustes da altura da mamoneira ao modelo linear logístico, aumentando o crescimento das plantas em função da aplicação de água residuária, ao longo do tempo.

Diferentemente de Souza *et al.* (2010c) e Nascimento *et al.* (2004a), os dados de altura referentes aos tratamentos com aplicação de urina se comportaram de forma linear, com coeficientes de regressão ( $R^2$ ) superiores a 0,99, conforme consta na figura 4.9 e na tabela 4.4. Tal comportamento é um indicativo de que a concentração de urina aplicada não foi suficiente

para suprir a demanda nutricional durante o período pesquisado, uma vez que não foi possível identificar uma tendência à estabilização desta variável, ou redução na taxa de crescimento. No entanto, T1 se comportou de forma distinta. A curva deste tratamento não se ajustou adequadamente à regressão linear. O ajuste foi obtido quando se aplicou o modelo não linear (polinomial quadrática), o qual indicou uma saturação do crescimento da planta em um menor período de tempo quando comparado aos demais. Estes resultados evidenciam a impossibilidade da antecipação da colheita fertilizada com urina.

Figura 4.9 – Altura da mamoneira ao longo dos 150 DAS. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

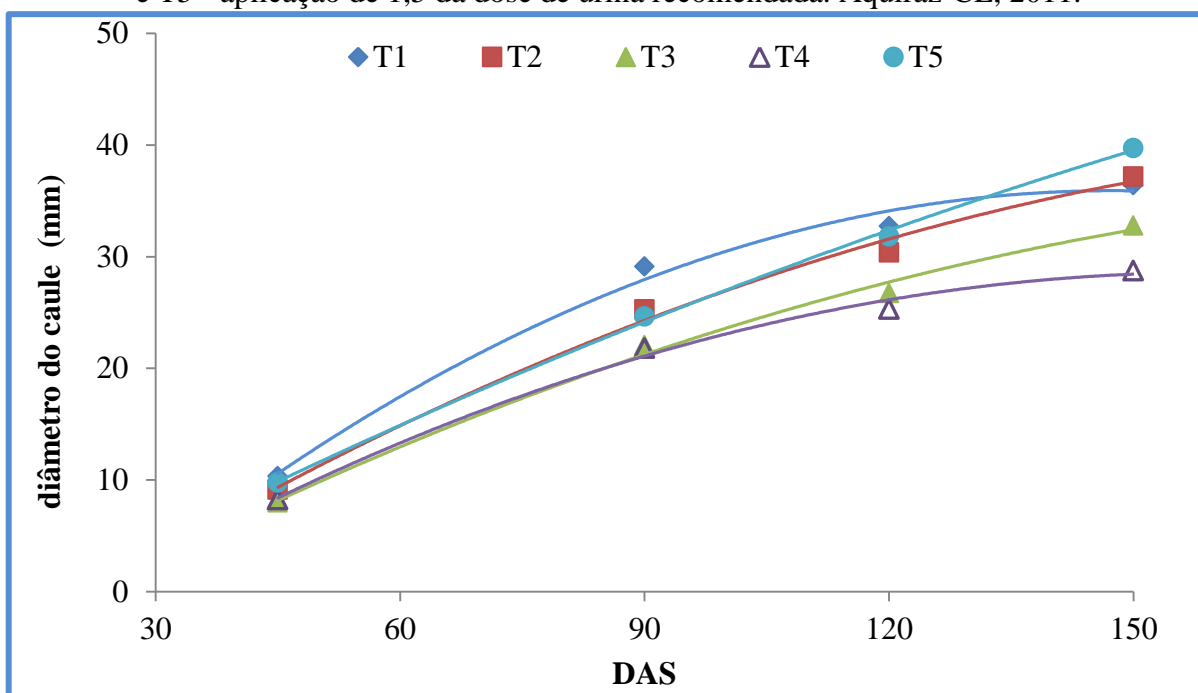
Tabela 4.4 - Modelos matemáticos e coeficientes de regressão por tratamento para o componente altura da planta. T1 - fertilizações químicas e orgânicas recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 - aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.

Tratamento	Modelo matemático	R <sup>2</sup> (coeficiente de regressão)
T1	$y_1 = -0,0061x^2 + 2,8174x - 81,174$	0,9991
T2	$y_2 = 1,8914x - 59,376$	0,9991
T3	$y_3 = 1,6103x - 52,902$	0,9950
T4	$y_4 = 1,4035x - 37,145$	0,9991
T5	$y_5 = 1,8298x - 54,302$	0,9968

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Ao contrário do comprimento, os tratamentos com urina se ajustaram a um modelo de regressão não linear para a variável diâmetro do caule, conforme apresentado na figura 4.10, caracterizando desta forma um provável estacionamento do crescimento do diâmetro caulinar aos 150 DAS.

Figura 4.10 - Diâmetro de caule da mamoneira ao longo dos 150 DAS. T1 - fertilizações químicas e orgânicas recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 - aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Tabela 4.5 - Modelos matemáticos e coeficientes de regressão por tratamento para o componente diâmetro do caule. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.

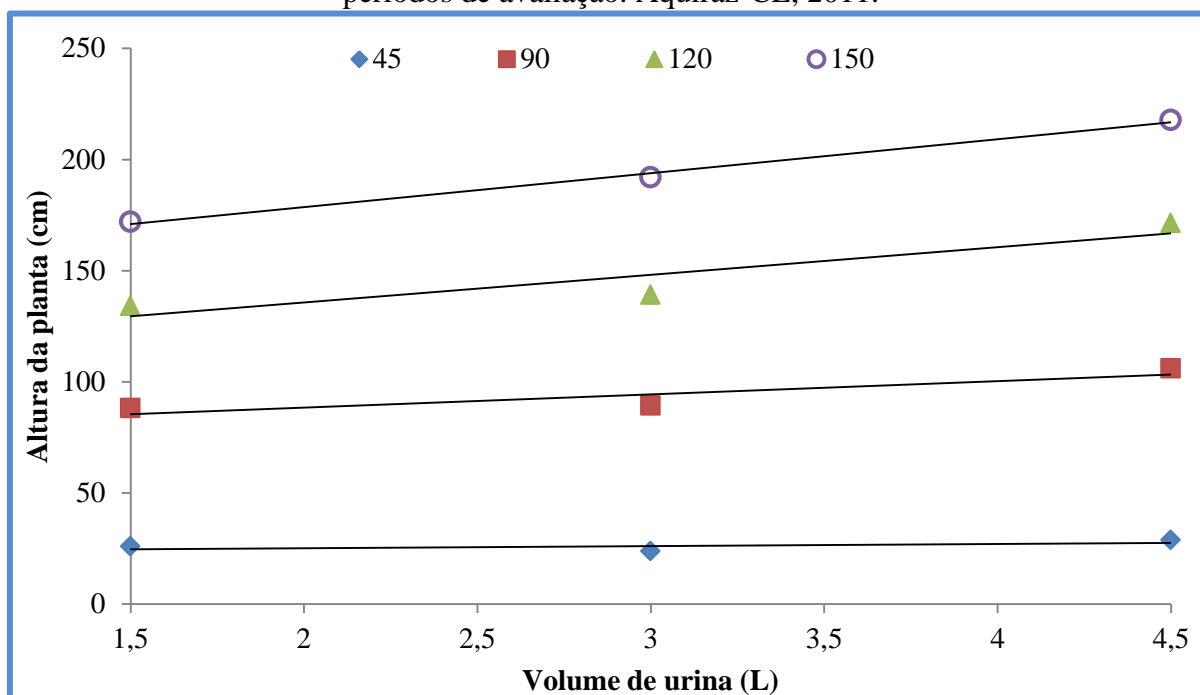
Tratamento	Modelo matemático	R <sup>2</sup> (coeficiente de regressão)
T1	$y_1 = -0,0024x^2 + 0,7119x - 16,557$	0,9911
T2	$y_2 = -0,0012x^2 + 0,4919x - 10,392$	0,9938
T3	$y_3 = -0,001x^2 + 0,4249x - 8,9513$	0,9947
T4	$y_4 = -0,0015x^2 + 0,488x - 10,481$	0,9946
T5	$y_5 = -0,0006x^2 + 0,3964x - 6,7812$	0,9988

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O tratamento T1 proporcionou o maior coeficiente quadrático das curvas de regressão com valor igual a 0,0024 (tabela 4.5). Isto significa uma curvatura mais acentuada, tendendo ao ponto de inflexão em um menor período de tempo, indicando que ao utilizar a fertilização química o ciclo da cultura em termos de variáveis de crescimento foi menor quando comparado à fertilização por urina.

Correlacionando os dados da altura da mamoneira por dose de urina para cada instante de avaliação (45, 90, 120 e 150 DAS), observou-se que o desenvolvimento da planta não ocorreu de forma linear em função da dose até os primeiros 90 DAS (tabela 4.6). Contudo, a linearidade foi alcançada com o tempo de cultivo, onde se verificou uma taxa de regressão linear (R<sup>2</sup>) acima de 0,99 aos 150 DAS.

Figura 4.11 – Altura da mamoneira sob diferentes doses de urina (volume) em função dos períodos de avaliação. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Tabela 4.6 - Modelos matemáticos e coeficientes de regressão da altura da mamoneira por dose de urina para cada instante de avaliação. Aquiraz-CE, 2011.

Instante de avaliação (DAS)	Modelo matemático	R <sup>2</sup> (coeficiente de regressão)
45	$y = 0,9838x + 23,198$	0,3352
90	$y = 5,9628x + 76,509$	0,7979
120	$y_3 = 12,467x + 110,75$	0,8493
150	$y_4 = 15,26x + 148,08$	0,9949

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Analisando a figura 4.11, observa-se que as plantas tiveram crescimento mais lento no período de 45 até os 90 DAS e não foram influenciadas pelas diferentes doses. Por outro lado, dos 90 aos 150 DAS, as plantas apresentaram um maior crescimento de AP, no qual se estimaram os seguintes valores: 171,91; 191,98 e 217,69cm, respectivamente, para T4, T3 e T5.

### 3.1.1.1. Análise estatística

O estudo estatístico apontou que a partir dos quadrados médios obtidos pelo teste F, houve efeito significativo na altura da planta ( $p=0,0310 < 0,05$ ), no diâmetro caulinar

( $p=0,0062<0,01$ ) e no número de racemos ( $p=0,0367<0,05$ ). Os valores da análise de variância estão apresentados na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Resumo das análises das variâncias para os dados: altura da planta, diâmetro caulinar e número de racemos. Aquiraz - CE, 2011.

Fontes de variação	GL	QM			P		
		Altura da planta	Diâmetro Caulinar	Número de Racemos	Altura da planta	Diâmetro Caulinar	Número de Racemos
Tratamento	4	1682,63	68,42	161,67	0,031	0,0062	0,0367
Blocos	3	1137,67	7,99	58,47	0,1005	0,5589	0,3154
Resíduo	12	437,59	11,09	44,51	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Constatado o efeito significativo, o teste de Scott-Knott indicou as alterações entre as médias dos tratamentos. No caso da altura não ocorreu diferença entre a fertilização química (T1) e as fertilizações com urina adicionada de cálcio (T2) e com 50% a mais de urina (T5). Contraparte, a mamoneira respondeu de forma equivalente nas aplicações com dose recomendada (T3) e com 50% a menos (T4). O mesmo comportamento estatístico foi observado para a variável diâmetro caulinar, conforme tabela 4.7.

Diferentemente, Sales (2008), com experimento na mesma área (centro de reuso), afirmou que a variável diâmetro do caule da mamoneira não sofreu influência significativa do uso de esgoto sanitário.

A fertilização química proporcionou incrementos significativos no número de racemos, quando comparado com a biofertilização. As médias da quantidade total de racemos produzidos por parcela de cada bloco estão mostradas na tabela 4.8. Pelo teste estatístico empregado, não existe diferença em aumentar as doses (T3, T4 e T5) nem adicionar calcário dolomítico (T2).



Tabela 4.8 - Médias da altura da planta, diâmetro caulinar e número de racemos em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2011.

Tratamentos	Altura da planta (cm)	Diâmetro caulinar (mm)	Número de racemos (unid)
T1	202,44 <sup>ab</sup>	36,88 <sup>ab</sup>	29,00 <sup>ab</sup>
T2	222,45 <sup>ab</sup>	37,17 <sup>ab</sup>	16,00 <sup>a</sup>
T3	189,98 <sup>a</sup>	32,54 <sup>a</sup>	12,75 <sup>a</sup>
T4	172,51 <sup>a</sup>	29,23 <sup>a</sup>	15,00 <sup>a</sup>
T5	217,95 <sup>ab</sup>	39,57 <sup>ab</sup>	18,75 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Estudando o uso de adubos minerais e orgânicos, Guimarães *et al.* (2008) observaram que para o crescimento inicial, a cultivar BRS Nordestina respondeu de forma positiva à adubação orgânica, em especial a torta de mamona e biossólidos, para as variáveis altura da planta e área foliar.

Já Souza *et al.* (2010a), trabalhando com diferentes doses de urina de vaca, concluíram que esta promoveu o aumento da produção vegetativa, porém não verificou efeitos estatísticos entre os tratamentos (concentrações) pesquisados.

### 3.1.2. Taxas de crescimento absoluto e relativo para altura da planta e diâmetro caulinar.

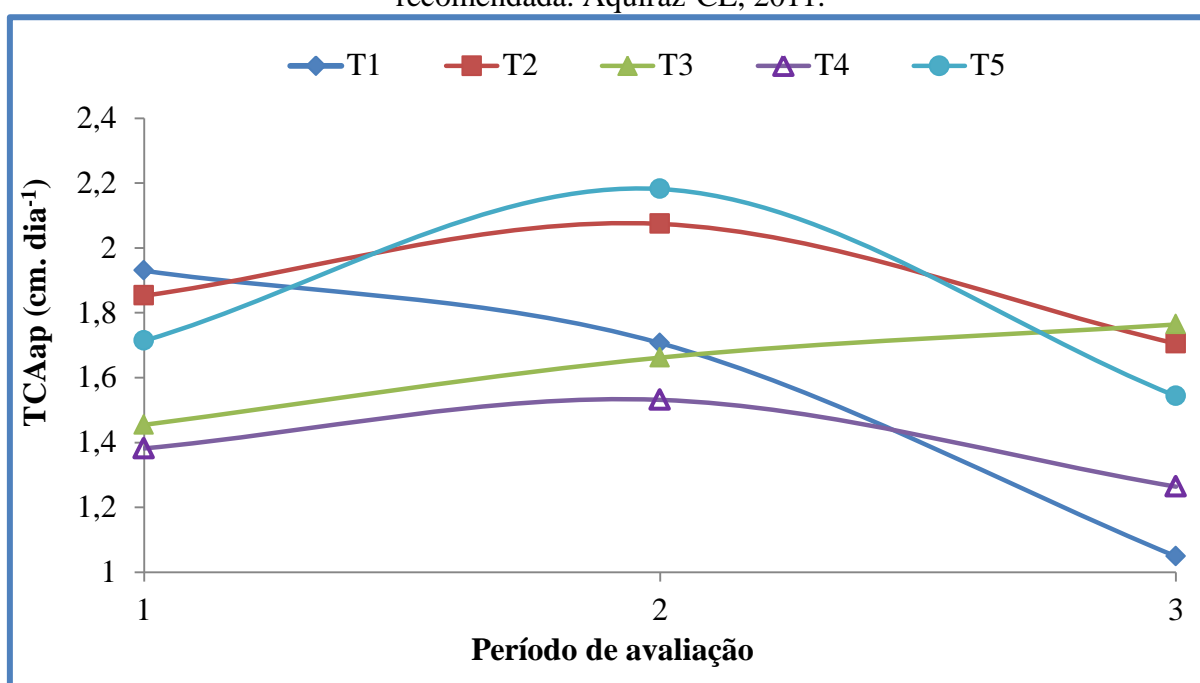
Os resultados obtidos para as variáveis TCAap (figura 4.12), TCRap (figura 4.13), TCAdc (figura 4.14) e TCRdc (figura 4.15) relacionados aos períodos de avaliação e aos diferentes tratamentos de fertilização são apresentados a seguir, por meio de representações gráficas.

Todas as taxas de crescimento se ajustaram ao modelo de regressão polinomial quadrática. É importante destacar que tais variáveis mensuram o que as plantas cresceram nos intervalos de avaliação (TCA) e o que as plantas cresceram por dia, por unidade já existente (TCR).

A taxa de crescimento de plantas, segundo Carvalho; Nakagawa (2000), é geneticamente controlada de maneira que, fatores que determinem diferentes taxas iniciais de crescimento terão efeito apenas durante a fase de crescimento exponencial das plantas, diminuindo de intensidade à medida que as plantas crescem.

Sistematizadas em apenas um gráfico, as taxas de crescimento absoluto da altura da planta para os cinco tratamentos estão apresentadas na figura 4.12. Constatou-se um crescimento inicial maior para T1, proporcionando a maior TCAap de 1,92cm.dia<sup>-1</sup> no primeiro intervalo (45-90 DAS) e quando comparado aos demais tratamentos este superou T2, T3, T4 e T5 em 3,99; 29,09; 28,40 e 11,20%, respectivamente.

Figura 4.12 - Taxa de crescimento absoluto em altura de plantas (TCAap) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Tabela 4.9 - Modelos matemáticos das taxas de crescimento absoluto da altura da planta por período de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.

Tratamento	Modelo matemático
T1	$y = -0,2201x^2 + 0,4372x + 1,7128$
T2	$y = -0,2954x^2 + 1,1076x + 1,0406$
T3	$y = -0,0452x^2 + 0,343x + 1,1567$
T4	$y = -0,2088x^2 + 0,7761x + 0,8144$
T5	$y = -0,5535x^2 + 2,1289x + 0,1384$

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

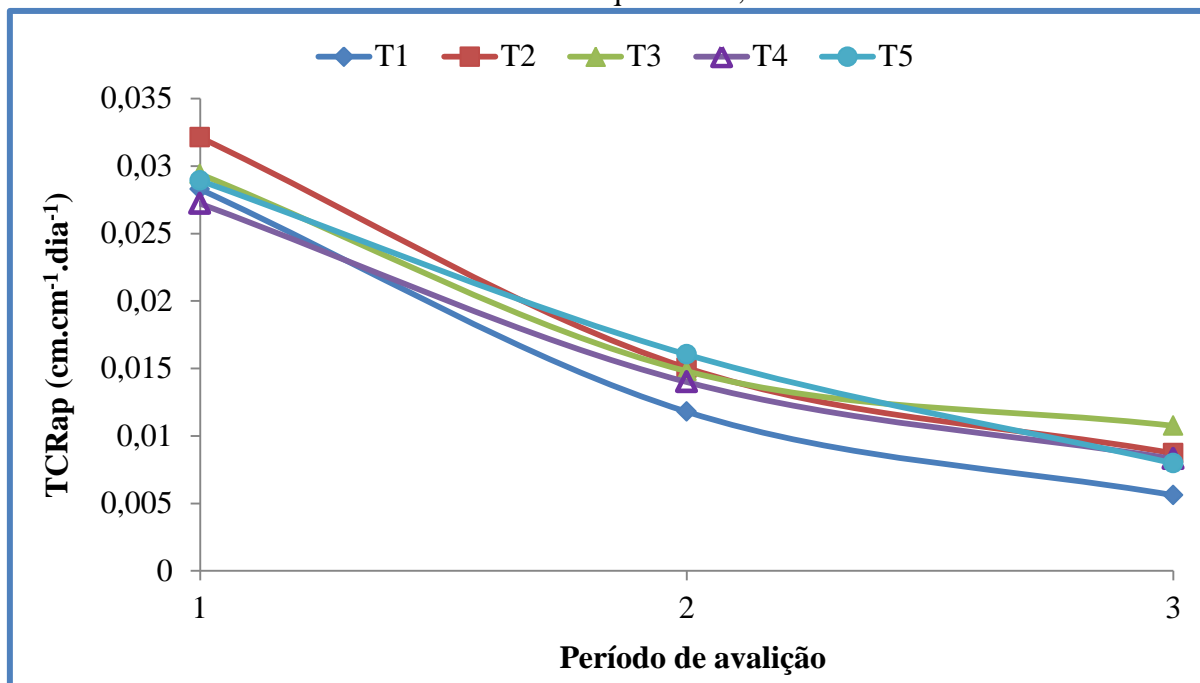
Analisando as TCAap para T1 (figura 4.12) verifica-se que no primeiro (45-90 DAS), segundo (90-120 DAS) e terceiro (120-150 DAS) intervalos foram estimadas as seguintes taxas de crescimento 1,92; 1,71 e 1,04cm.dia<sup>-1</sup>, percebendo que o primeiro intervalo contabilizou maior TCAap, com valores superiores a 11,57 e 45,95% em relação ao segundo e terceiro.

Antagonicamente ao T1, as menores TCAap dos tratamentos com aplicação de urina foram verificadas no primeiro período de avaliação. As TCAap, em ordem cronológica, foram 1,85; 2,07 e 1,71cm.dia<sup>-1</sup>, para T2; 1,45; 1,66 e 1,78cm.dia<sup>-1</sup>, para T3; 1,38; 1,53 e 1,26cm.dia<sup>-1</sup>, para T4 e 1,71; 2,19 e 1,54cm.dia<sup>-1</sup> para T5 (figura 4.12). Podem-se observar, como já esperado, as menores taxas de crescimento para T4. De forma equivalente, Santos *et al.* (2011) encontraram 2,69cm.dia<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação e irrigação adequadas e 1,76cm.dia<sup>-1</sup>, no caso da ausência de adubação e irrigação.

Níveis insatisfatórios de potássio, da mesma forma que de fósforo, retardam o crescimento inicial da planta e provocam redução considerável na produtividade (SEVERINO *et al.*, 2006a). Desta forma, o retardamento do crescimento da mamoneira nos tratamentos com urina, verificado no período inicial, pode ser explicado pelo déficit de potássio e fósforo, sendo agravado ainda pela precipitação do fósforo no recipiente de armazenamento.

As maiores taxas de crescimento relativo da altura da mamoneira (figura 4.13) ocorreram no primeiro intervalo independente do tratamento, onde foram identificados os valores de 0,0283; 0,0321; 0,0294; 0,0272 e 0,0289 cm.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente para T1, T2, T3, T4 e T5, os quais foram diferentes do comportamento encontrado na TCAap. Nos intervalos subsequentes, verifica-se uma redução nas taxas de crescimento para a variável estudada, conforme visualizado na figura 4.13.

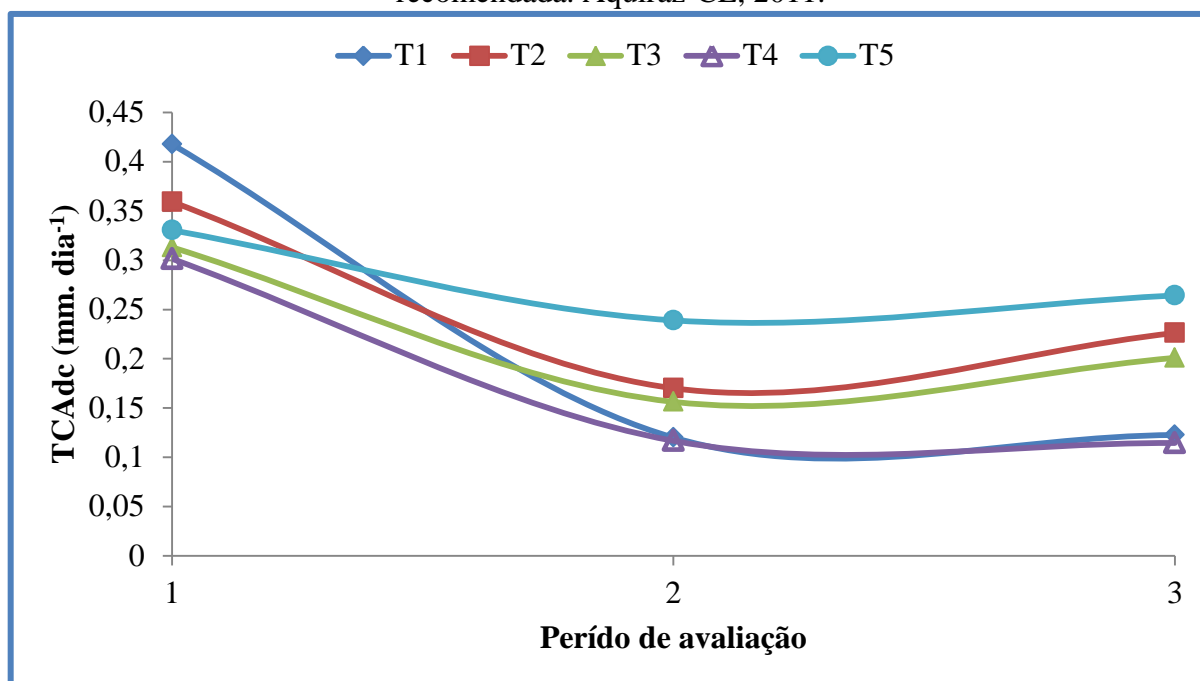
Figura 4.13 - Taxa de crescimento relativo em altura de plantas (TCRap) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O comportamento das taxas de crescimento absoluto do diâmetro caulinar diferiu das taxas da altura da planta. Enquanto as TCAap do primeiro e segundo período de avaliação tiveram um comportamento crescente, as TCA<sub>dc</sub> se comportaram de forma contrária, apresentando um decaimento de 71,23; 52,64; 50,0; 61,26 e 27,58% para T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. No terceiro período ocorreu um ligeiro aumento, tendendo à estabilização da curva.

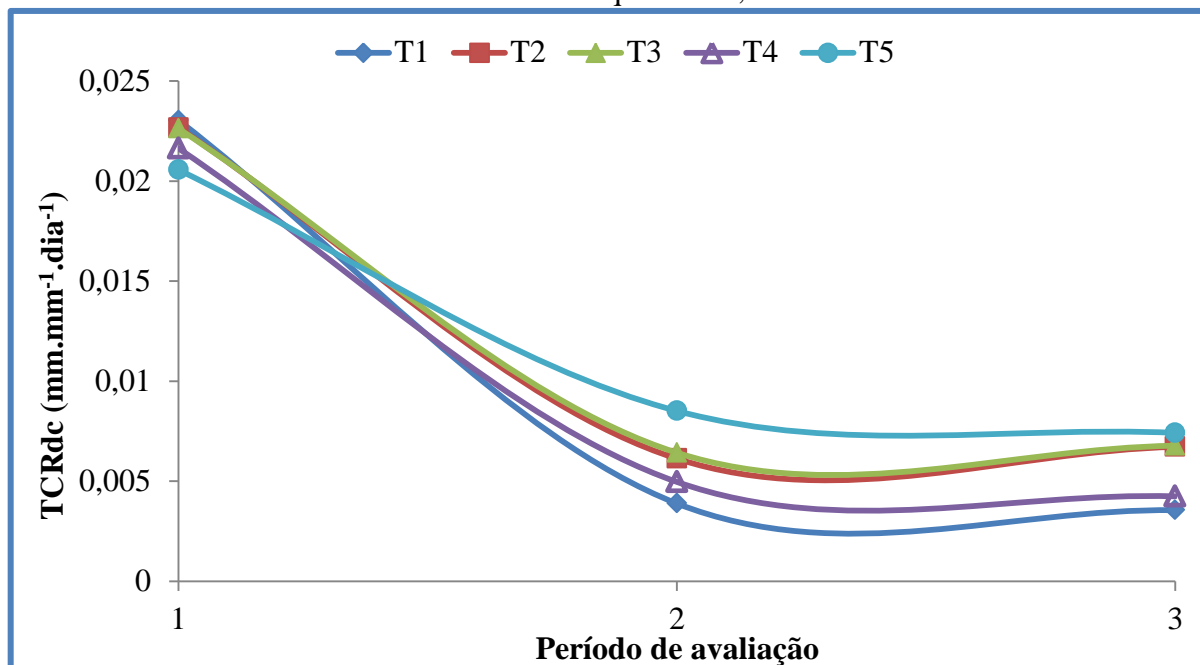
Figura 4.14 - Taxa de crescimento absoluto em diâmetro de caule (TCAdc) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

De forma similar, as taxas de crescimento relativo do diâmetro caulinar diminuíram com o tempo e tenderam a uma saturação após o segundo período de avaliação. Os valores das TCRdc iniciais (45-90 DAS) foram de 0,023; 0,0226; 0,0226; 0,0216 e 0,0206 cm.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente para T1, T2, T3, T4 e T5. Já, os valores das TCRdc finais (120-150 DAS) reduziram para 0,00355; 0,00672; 0,00678; 0,00425 e 0,007419 cm.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. As curvas de decaimento da TCRdc dos cinco tratamentos tiveram comportamento equivalente, conforme figura 4.15.

Figura 4.15 - Taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule (TCRdc) em função dos períodos de avaliação. T1 - fertilizações química e orgânica recomendadas; T2 - aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 – aplicação de urina na dose recomendada; T4 - aplicação de 0,5 da dose de urina recomendada e T5 - aplicação de 1,5 da dose de urina recomendada. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

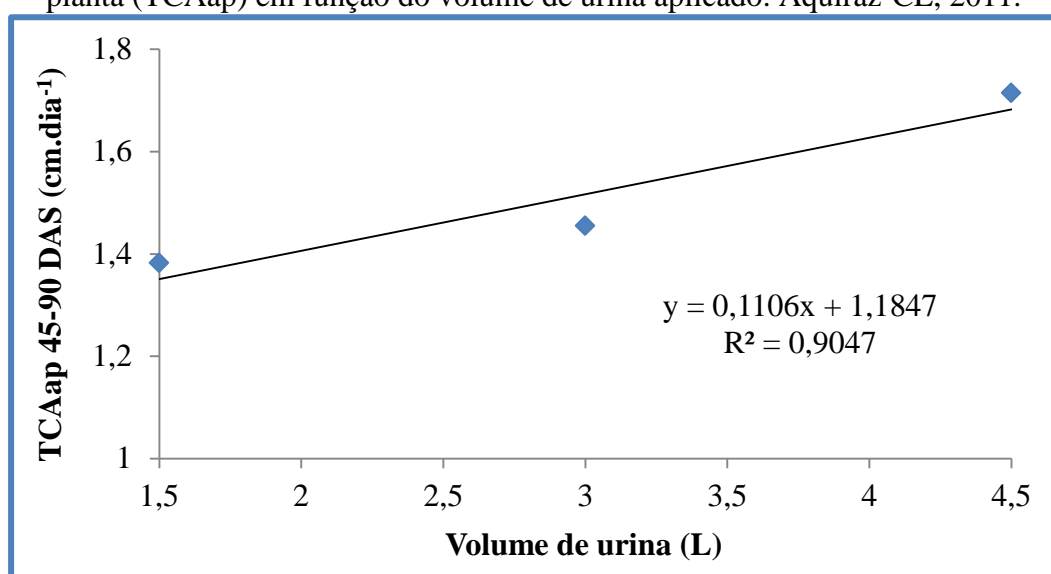
As reduções nas taxas de crescimento com o tempo são explicadas por paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração do crescimento produtivo, que ocorrem pela canalização da energia e de materiais destinados a floração e frutificação, que por sua vez originam-se no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos (LARCHER, 2000 e ALVES, 2009). É por isso que raramente a mamoneira é cultivada em solos muito férteis, pois nessas condições ela tende a produzir grande massa vegetativa em detrimento da produção de sementes. Desta forma, de acordo com Severino *et al.* (2006a), um grande desafio ao melhoramento das plantas de mamoneira de médio e alto portes é sintetizar variedades com maior índice de colheita, que ao mesmo tempo tenha como características menor crescimento arbustivo, maior produtividade de baga e de óleo e uso eficiente de adubos e corretivo.

Ao analisar as taxas de crescimento absoluto da altura da planta segundo a dose de urina aplicada, foi constatado que as taxas do primeiro e do segundo período aumentaram linearmente, com incrementos, segundo equações matemáticas, superiores a 19%, entre T5 e T4 (figuras 4.16 e 4.17), enquanto no terceiro período (120 - 150 DAS) houve um

crescimento não linear, se ajustando à forma polinomial quadrática, sob uma taxa de 18,10% (figura 4.18).

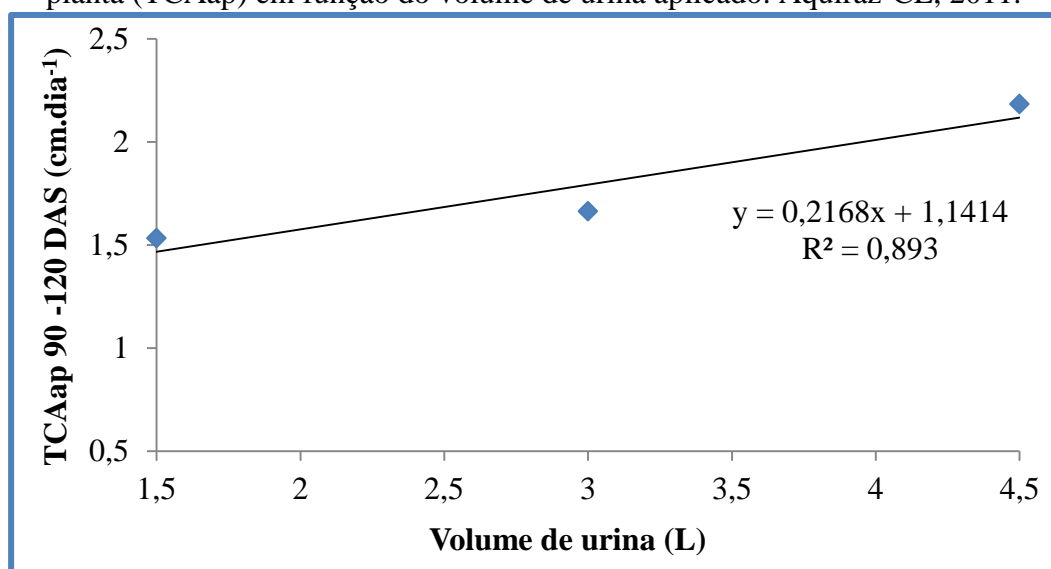
Observa-se que quanto maior a concentração de urina, maior será a taxa de crescimento inicial da altura da planta (120 DAS). Contudo, após 150 DAS, a curva se ajustou a um novo modelo matemático (polinomial quadrático) e acima de 3,0 litros, houve um decréscimo na taxa de crescimento da altura da planta, de até 14,32% quando aplicados 4,5 litros.

Figura 4.16 - Taxa de crescimento absoluto do primeiro período (45-90 DAS) em altura da planta (TCAap) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



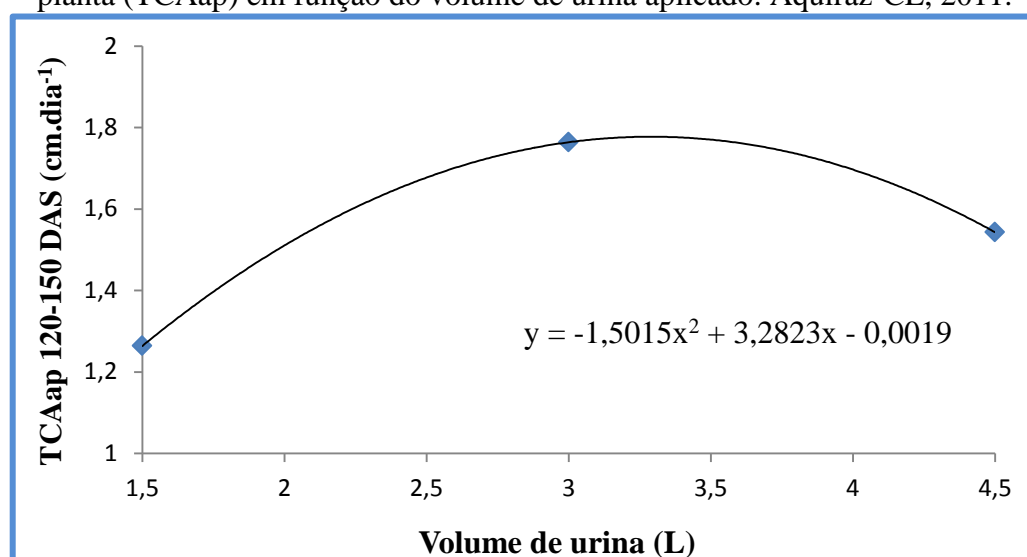
Fonte: Autor (2013)

Figura 4.17 - Taxa de crescimento absoluto do segundo período (90-120 DAS) em altura da planta (TCAap) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

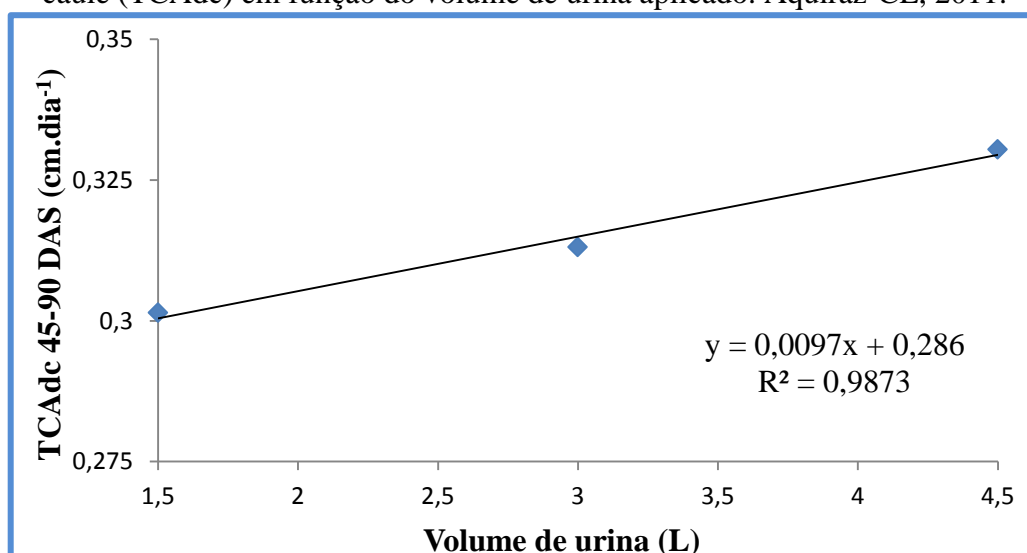
Figura 4.18 - Taxa de crescimento absoluto do terceiro período (120-150 DAS) em altura da planta (TCAap) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Quanto ao diâmetro caulinar, todas as taxas de crescimento absoluto segundo dose de urina aplicada aumentaram linearmente, com incrementos, segundo equações matemáticas, superiores a 8,0; 50 e 55% entre T5 e T4, respectivamente no primeiro (45-90), segundo (90-120) e terceiro período de avaliação (120-150 DAS). Verifica-se, portanto, que quanto maior a dose, maior é a taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar (figuras 4.19, 4.20 e 4.21). Vale ressaltar, que a dosagem máxima utilizada nesta pesquisa foi de 150%. Desta forma, fazem-se necessárias novas pesquisas para analisar o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira aplicando doses mais elevadas de urina.

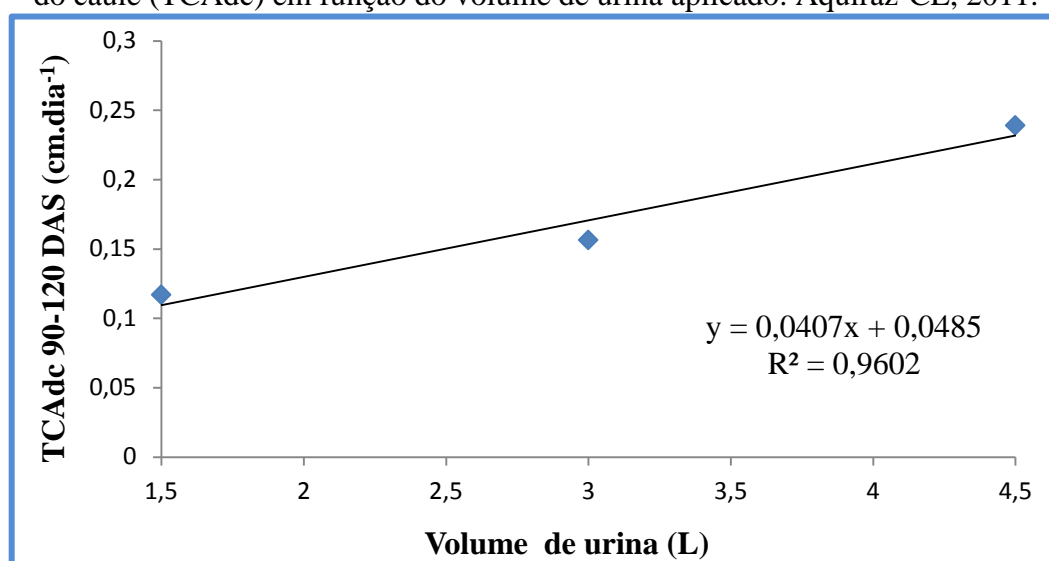
Figura 4.19 - Taxa de crescimento absoluto do primeiro período (45-90 DAS) em diâmetro do caule (TCAdc) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

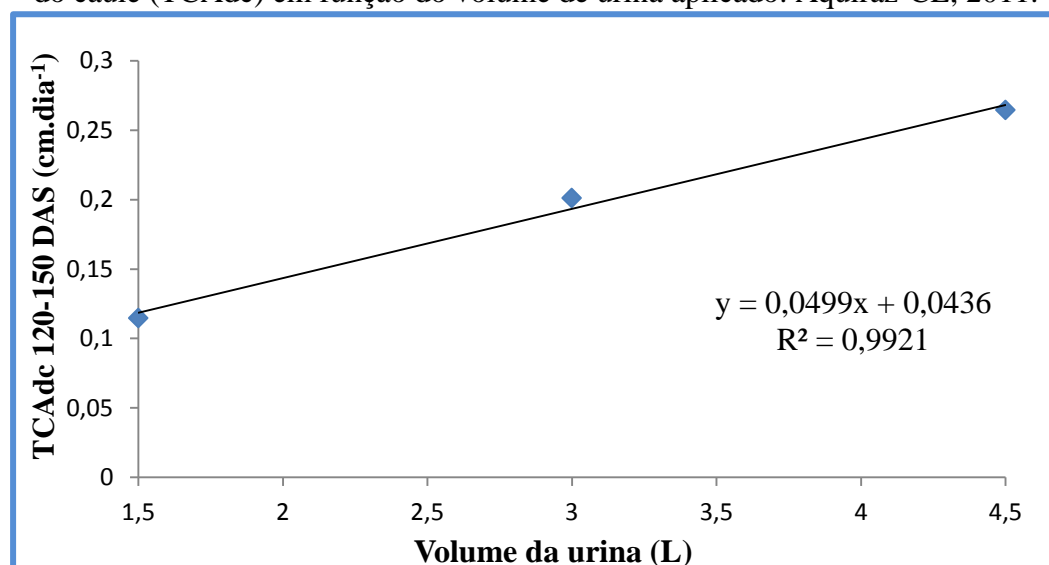


Figura 4.20 - Taxa de crescimento absoluto do segundo período (90-120 DAS) em diâmetro do caule (TCAdc) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Figura 4.21 - Taxa de crescimento absoluto do terceiro período (120-150 DAS) em diâmetro do caule (TCAdc) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

### 3.2. Injúrias na mamoneira com aplicação da urina

Em um levantamento observacional, após 72 horas da primeira aplicação da urina, verificou-se a existência de injúrias nas plantas (figura 4.22). Em T3, 20% das plantas apresentaram folhas murchas e queimadas. O mesmo percentual foi observado para T2, o que já era de ser esperar, pois o volume de urina aplicado foi o mesmo. Porém, esse valor subiu para 55% no caso de T5, causado pelo maior volume empregado (50% a mais). Não ocorreu qualquer injúria nas plantas de T4.

Estas informações levantadas estão em concordância com os resultados obtidos por Oliveira *et al.* (2008), em que a urina da vaca, quando utilizada pura, causou o mesmo tipo de injúria na mamoneira. O mesmo também foi verificado por Souza *et al.* (2010b), pois os tratamentos que receberam doses mais elevadas de urina de vaca em seu substrato morreram.

Figura 4.22 – Plantas que apresentaram injúrias (folhas murchas) após 72 horas da aplicação da urina . Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Passados 10 dias da biofertilização, todas as mamoneiras já apresentavam um aspecto saudável, sem qualquer vestígio de dano. Mesmo com as injúrias ocorridas, T5 obteve os melhores resultados para as variáveis de crescimento e produtividade, apresentando o maior diâmetro caulinar e o segundo maior peso de mil sementes. Contrariando os dados iniciais, esperam-se deste tratamento uma maior resistência e melhor resposta biométrica, pois, segundo Guimarães *et al.* (2009), o diâmetro do caule é uma característica importante uma vez que, quanto maior o seu valor, maior o vigor, robustez e resistência da planta.

### **3.3. Avaliações das variáveis de produção da mamoneira**

#### **3.3.1. Comprimento do racemo, número de frutos e peso de frutos por planta**

Dentre os cinco tratamentos, T5 forneceu a maior média de comprimento do racemo, com valor de 30,99cm. Este foi superior ao tratamento controle em 12,15%, o qual alcançou uma média de 27,22cm. Os outros três tratamentos tiveram médias inferiores, com valores abaixo de 25,00cm. Apenas T5 se aproximou do valor do comprimento médio informado por Embrapa Algodão (2002) que é de 31 cm para a cultivar “BRS 149 Nordestina”, porém foi bem abaixo dos valores obtidos por Souza *et al.* (2010c), de 45cm, quando foi utilizado efluente tratado em conjunto com adubação química.

Quanto à variável número de frutos por planta e peso de frutos por planta, mais uma vez se observou a superioridade alcançada pelos tratamentos com urina. O T2 foi responsável pelas maiores médias, com 36,5 frutos por planta e 76,7g de frutos por planta. Apesar de T1 ter obtido uma média de frutos por planta inferior à T5, o primeiro superou este último em 4,27% para a variável peso de frutos, com o valor de 69,81g. As médias destas duas variáveis estão apresentadas na tabela 4.11.

De forma geral, com exceção de T2 e T5, a quantidade média de frutos por planta foi abaixo do informado por Embrapa Algodão (2002) que é de 35 unidades. Porém, estes valores variam bastante de autor para autor. Carvalho (2005) relatou 37 frutos; Drummond *et al.* (2006), 64 frutos; Souza (2007), 27; Mesquita *et al.* (2010), com doses de 100 e 300 kg.ha<sup>-1</sup>, verificaram médias de 43,42 e 57,33 frutos, respectivamente; e Xavier *et al.* (2010) combinando adubação química com esgoto encontrou de 19 a 49,33 frutos para 70% e 100% de nitrogênio.

De acordo com Souza (2007) e Koutroubas *et al.* (1999), o aumento do potencial produtivo da mamoneira está intimamente relacionado com o aumento de suas variáveis de produção, como número de racemos por planta, comprimento do racemo, frutos por racemo e peso das sementes. Portanto, os resultados de produção alcançados por T2 e T5 representam uma forte possibilidade de complementação ou até mesmo de substituição da adubação química pelo fertilizante natural urina.

Pode-se inferir que o metabolismo da mamona respondeu de forma positiva ao uso de 100% de urina adicionada de cálcio e ao uso de 150%, uma vez que os dados obtidos demonstram que a cultura conseguiu converter eficientemente os nutrientes presentes no solo, juntamente com os nutrientes oriundos na urina, em produção (peso e quantidade) de frutos.

### 3.3.1.1. Análise estatística

Pelo resumo das análises das variâncias para os dados do número médio de frutos por planta e peso de frutos por planta constatou-se efeito significativo pelo teste F a um nível de significância de 5%, revelando diferenças entre os tratamentos para estes componentes de produção (tabela 4.10).

Apesar da diferença de 21,19% entre T4 e T2, os tratamentos utilizados não resultaram em alteração significativa para o componente comprimento do racemo ( $p=0,1461>0,05$ ). Para este componente, não existe diferença em fertilizar a mamoneira com urina, utilizando doses de 50, 100 e 150%, ou com adubo químico (NPK + micronutrientes).

Tabela 4.10 - Resumo das análises de variâncias para os dados: comprimento do racemo, número de frutos por planta e peso de frutos por planta. Aquiraz - CE, 2011.

Fontes de variação	GL	QM			P		
		Comprimento do racemo	Número de frutos por planta	Peso de frutos por planta	Comprimento do racemo	Número de frutos por planta	Peso de frutos por planta
Tratamento	4	32,16	105,74	726,67	0,1461	0,0495	0,0048
Blocos	3	13,66	23,36	36,99	0,4764	0,5576	0,7995
Resíduo	12	15,43	32,32	110,01	-	-	-

Fonte: Elaboração própria (2013)

Por outro lado, verificou-se que as variáveis, número de frutos por planta e peso de frutos por planta, foram susceptíveis às diferenças de tipo de fertilizante e dose. Os tratamentos 1, 2 e 5 proporcionaram as maiores médias para o número de frutos por planta, diferindo estatisticamente ( $p<0,05$ ) dos tratamentos 3 e 4. Já para o componente peso de frutos por planta, apenas T4 diferiu dos demais tratamentos. Mesmo com discrepâncias acima de 20% entre T2 e T3, o teste estatístico utilizado não indicou efeito significativo (tabela 4.11).

Tabela 4.11 - Médias de comprimento do racemo, número de frutos por planta e peso de frutos por planta em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2011.

Tratamentos	Comprimento do racemo (cm)	Número de frutos por planta (unid)	Peso de frutos por planta (g)
T1	28,51 <sup>a</sup>	33,52 <sup>ab</sup>	69,82 <sup>ab</sup>
T2	30,07 <sup>a</sup>	36,53 <sup>ab</sup>	76,68 <sup>ab</sup>
T3	24,44 <sup>a</sup>	26,48 <sup>a</sup>	60,78 <sup>ab</sup>
T4	23,70 <sup>a</sup>	25,37 <sup>a</sup>	41,24 <sup>a</sup>
T5	28,74 <sup>a</sup>	35,19 <sup>ab</sup>	66,82 <sup>ab</sup>

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

De acordo com Severino *et al.* (2004), o fósforo tem sido o elemento que mais de destaca na nutrição mineral, não somente por se encontrar em menor teor nos solos brasileiros, como também por influenciar decisivamente na produção de frutos, em peso e número, pois o fósforo estimula a antecipação da emissão do racemo primário. Adicionalmente, Severino *et al.* (2006a) observaram que ao avaliar a adubação com macro e micronutrientes na cultura da mamona, concluíram que esta promoveu aumento de produtividade da cultivar BRS Nordestina, com destaque para as doses de nitrogênio quanto ao número de frutos por planta.

Os efeitos significativos ( $\alpha=0,05$ ) determinados para os componentes de produção devem-se, desta maneira, às diferenças de concentrações do fósforo, e principalmente, do nitrogênio, elemento limitante no desenvolvimento produtivo da mamoneira.

Os resultados expressivos ( $p<0,05$ ) favoráveis ao T2 em comparação com T3 para o componente número de frutos por planta podem ser explicados pela introdução do elemento cálcio, suprimindo sua ausência na urina no momento da aplicação. De acordo com Guariz *et al.* (2012), as mamoneiras quando submetidas à deficiência de cálcio promovem pouco crescimento do sistema radicular, permanecendo com um aspecto raquítico, além de reduzir a biomassa da parte aérea. O cálcio, segundo Nascimento *et al.* (2004) é um macronutriente essencial às culturas, que tem diversos efeitos no desenvolvimento da planta.

Além de neutralizar a acidez do solo, a calagem melhora a disponibilidade de outros nutrientes, como o fósforo, e diminui a toxidez de alumínio e manganês.

Durante o crescimento e o desenvolvimento da mamoneira, a dose utilizada em T5 e a adição de cálcio do T2, juntamente com os nutrientes contidos no solo supriram

eficientemente às necessidades nutricionais da cultura. Fato evidenciado pelos bons resultados alcançados nestes dois tratamentos para os componentes: comprimento do racemo, número de racemos por planta, número de frutos por planta e diâmetro caulinar, todos compatíveis com a literatura.

De forma análoga, diversos trabalhos sobre a potencialidade do uso de adubos orgânicos no cultivo da mamoneira (LIMA *et al.*, 2008; GUIMARÃES *et al.*, 2006, COSTA *et al.*, 2009; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2010; FERNANDES, 2011) trazem ótimos resultados para variáveis de crescimento e de produção.

A análise estatística corroborou a possibilidade anteriormente descrita de substituição da fertilização química pela urina, avaliado sob a ótica dos parâmetros de crescimento e de produção até agora apreciados. Contudo, vale considerar, segundo Severino *et al.* (2006b), que dificilmente um material orgânico terá todos os nutrientes essenciais na quantidade exigida, o que limita a utilização da adubação orgânica como única fonte de nutrientes, devendo-se utilizá-la em conjunto com a adubação química.

### 3.3.2. *Peso de mil sementes, Produtividade e Teor de Óleo.*

De acordo com Beltrão *et al.* (2007), juntamente com o número de racemos por planta e o número de frutos por racemo, a peso de mil sementes é um dos componentes mais importantes de produção da cultura da mamoneira.

Segundo Amaral (2003), pode-se classificar a peso de mil sementes de mamoneira em três classes: baixa com valores inferiores a 400g; média, entre 400 e 500g e alta, com valores superiores a 500g. Com base nesta classificação, conclui-se que T1 está situado na classe alta, com 502,39g; T2 classificado como médio, com 487,42g; T3 situado na classe média, com 484,6g; T4, classe baixa, com 394,7g e T5, classe média, mas bem próximo da classe alta, com 496,75g.

As análises de variâncias indicaram efeito significativo pelo teste F a um nível de significância de 5% para a peso de mil sementes e produtividade, enquanto para o teor de óleo não foi constatada nenhuma diferença expressiva (tabela 4.12).

Tabela 4.12 - Resumo das análises de variâncias para os dados: peso de mil sementes, produtividade e teor de óleo. Aquiraz - CE, 2011.

Fontes de variação	GL	QM			P		
		Peso de Mil Semente	Produtividade	Teor de óleo	Peso de Mil Semente	Produtividade	Teor de óleo
Tratamento	4	79,01	422.430,19	3,76	0,0439	0,0000	0,2928
Blocos	3	2,01	12.227,42	1,00	0,9659	0,3780	0,7734
Resíduo	12	23,14	10.875,34	2,69	-	-	-

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Apenas T4, com média do peso de mil sementes igual a 394,7g, diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (tabela 4.13). Este valor reduzido deve-se ao menor aporte de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio fornecidos às plantas.

Mesmo com resultados discrepantes entre os T1, T2, T3 e T5, estes não representaram efeitos expressivos a um nível de 5%, podendo-se inferir que o peso de sementes é a mesmo quando se utiliza adubação química e adubação com urina.

Tabela 4.13 - Médias de peso de mil sementes, produtividade e teor de óleo. Aquiraz - CE, 2011.

Tratamentos	Peso de Mil Semente (g)	Produtividade (kg/ha)	Teor de óleo (%)
T1	502,4 <sup>b</sup>	1270,9 <sup>d</sup>	55,9 <sup>a</sup>
T2	487,4 <sup>b</sup>	1048,8 <sup>c</sup>	53,6 <sup>a</sup>
T3	484,6 <sup>b</sup>	671,8 <sup>b</sup>	55,5 <sup>a</sup>
T4	394,7 <sup>a</sup>	477,78 <sup>a</sup>	54,2 <sup>a</sup>
T5	496,7 <sup>b</sup>	1081,2 <sup>c</sup>	55,4 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Comparando as diferenças relativas, o tratamento controle (T1) foi superior aos tratamentos 2, 3, 4 e 5 em 3,17; 3,73; 21,59 e 1,32%, respectivamente. Destacam-se aqui as pequenas diferenças entre T1 e T2 e principalmente entre T1 e T5.

A literatura apresenta médias de peso de mil sementes equivalentes ou acima dos determinados nesta pesquisa. Souza *et al.* (2010) em estudo comparativo entre diferentes épocas de plantio, encontraram peso médio acima de 555g. Já Alves (2009), em sua tese de doutorado, alcançou resultados de aproximadamente 460g.

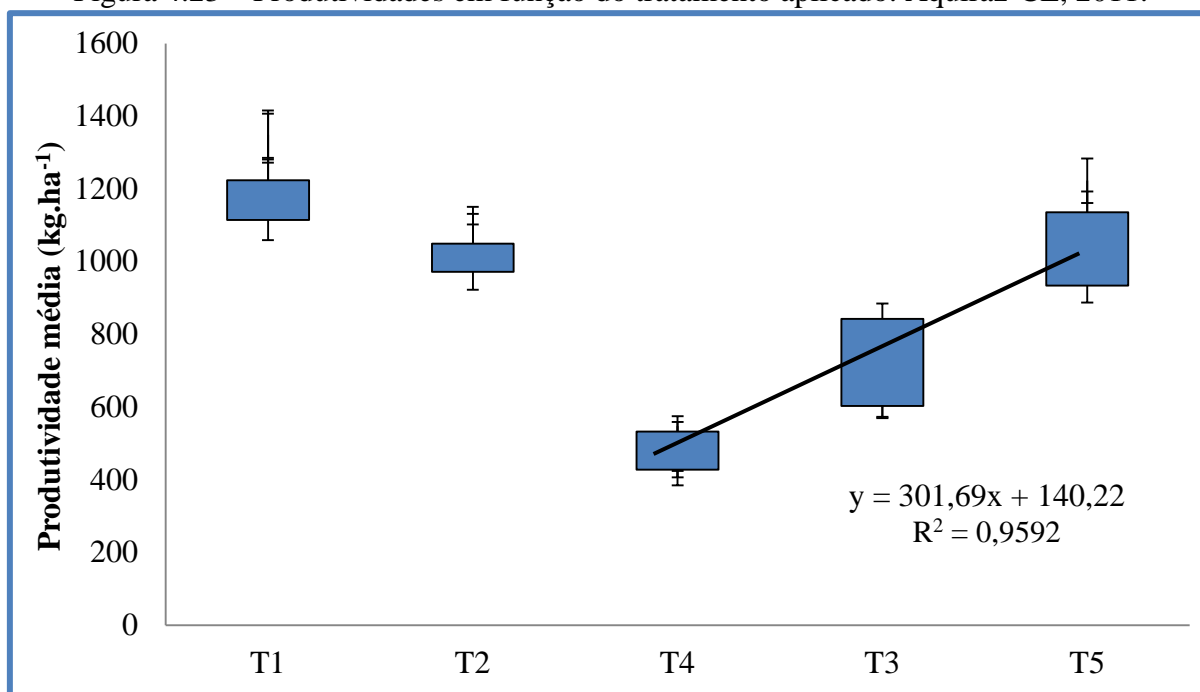
Conforme informações de Embrapa Algodão (2002), a cultivar BRS Nordestina fornece um peso médio de 68g a cada cem sementes. Em nenhum tratamento foi possível alcançar tal valor.

Quanto à produtividade, os resultados dos tratamentos foram muito discrepantes. Acredita-se que isto tenha ocorrido devido ao sinergismo de diferentes componentes: peso de frutos por planta, número de racemos por planta e número de frutos por racemo, que em escala cumulativa, possuíam consequências diretas na produtividade.

As produtividades médias das sementes da mamona foram as seguintes: 1256,7; 1048,5; 671,8; 477,8 e 1081,2  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , o que representa diferenças relativas entre o tratamento controle (1256,65  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e os demais de: 16,6; 46,5; 61,9 e 13,9%, respectivamente para T2; T3; T4 e T5.

Abaixo, o gráfico box-plot (figura 4.23) traz os valores máximos, mínimos e os erros padrões de 5%. Vale destacar, que este gráfico foi montado invertendo a sequência de T3 e T4 a fim de determinar a curva de regressão da produtividade com o acréscimo de 50% do volume de urina (T4 – 50%; T3 - 100% e T5 - 150%).

Figura 4.23 – Produtividades em função do tratamento aplicado. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Observa-se que a produtividade se comportou de forma linear quando se incorporou 50% a mais de urina com um coeficiente ( $R^2$ ) igual a 0,9592, obedecendo à equação mencionada na figura 4.23.



Apenas T2 e T5 não diferem estatisticamente entre si. Já a fertilização química respondeu de forma significativa e atingiu a maior média. Todavia, e com resultados já esperados, T4 alcançou a menor produtividade, diferindo dos demais tratamentos. Logo, a produtividade da semente variou conforme o tipo de adubação (química ou urina) e quanto ao volume de urina aplicado.

Salienta-se que, conforme Santos *et al.* (2004), a frutificação é comprometida quando há deficiência de N, produzindo poucos racemos e frutos com peso abaixo do esperado. Nesse contexto, a baixa produção verificada, principalmente em T4, pode ser atribuída ao desbalanceamento de nutrientes.

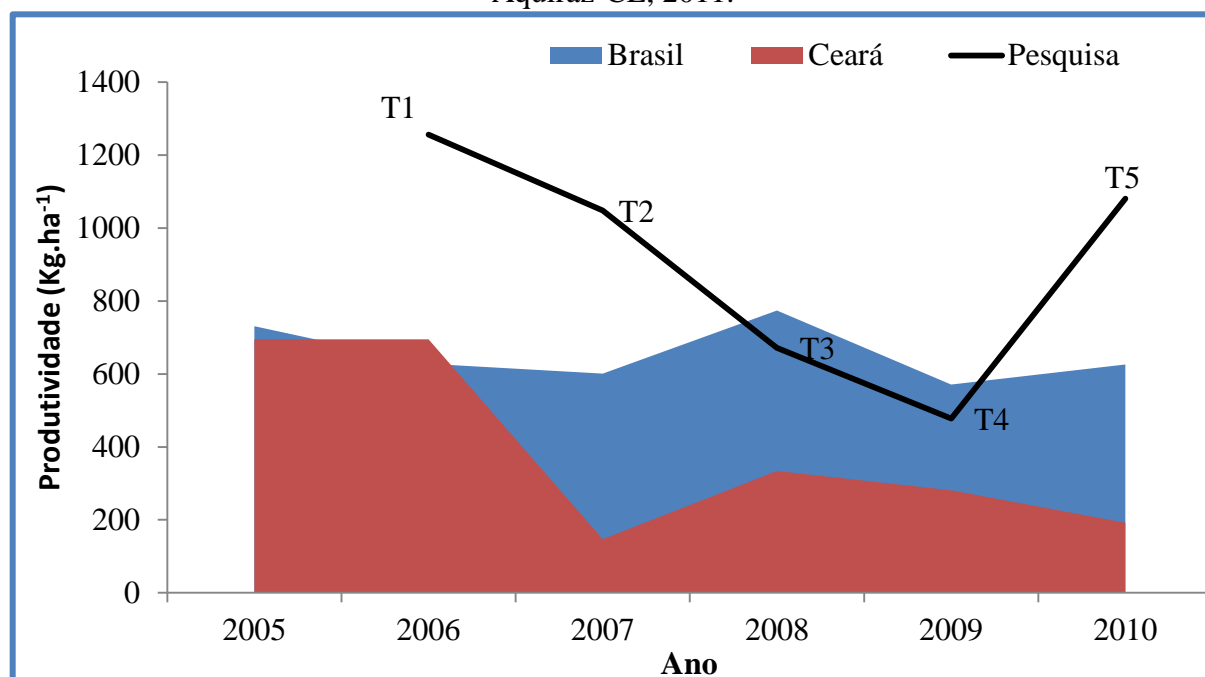
Os resultados desta pesquisa ficaram abaixo das produtividades encontradas na literatura existente. Neto *et al.* (2008) obtiveram valores entre 1400 e 1700kg.ha<sup>-1</sup>, variando os níveis de adubação até 120-75-45kg.ha<sup>-1</sup> de NPK. Souza (2006), pesquisando na mesma área de plantio (centro de pesquisa em reuso no município de Aquiraz), conseguiu médias de 887,5kg.ha<sup>-1</sup> para o tratamento com adubação comercial recomendada e 1986,2 kg.ha<sup>-1</sup> para o tratamento com esgoto e adubação comercial recomendada. Nascimento *et al.* (2011) alcançaram produtividades de 0,98 a 2,8t.ha<sup>-1</sup> aplicando lodo de esgoto na concentração de 0 a 60t.ha<sup>-1</sup>.

Segundo Carvalho (2005), algumas variedades podem produzir até 1.500 kg.ha<sup>-1</sup> de bagas em regime de sequeiro e em condições de irrigação a produtividade pode alcançar patamares de 5000 kg.ha<sup>-1</sup>.

Por outro lado, e guardada as devidas proporcionalidades quanto ao manejo da colheita, do beneficiamento e do local de plantio, os resultados alcançados nos tratamentos com urina foram maiores do que as produtividades do estado do Ceará e do Brasil, tomando como base de comparação os anos de 2005 a 2010.

Com exceção de T3 e T4, todos os demais tratamentos responderam com uma produtividade acima de 25% da produção do Brasil, conforme verificado na figura 4.24. O tratamento em que se utilizou 150% de urina foi 28,4% superior à maior produtividade brasileira ocorrida em 2008 (774 kg.ha<sup>-1</sup>).

Figura 4.24 – Produtividades médias da mamona no Brasil e no Ceará entre os anos de 2005 a 2010 em comparação com as produtividades média por tratamento obtidas nesta pesquisa. Aquiraz-CE, 2011.



Fonte: Dados próprios (2013) e SIDRA IBGE (2011).

Observa-se, claramente, pela figura 4.24, que em 2007 a produtividade no estado do Ceará decresceu subitamente e se manteve estável até 2010. César; Batalha (2011) afirmam que a introdução do óleo da mamona como matéria prima para produção do biodiesel estimulou intensamente os agricultores rurais a investir nesta cultura, gerando o aumento registrado em 2005. No entanto, após o primeiro ano do programa do biodiesel, ainda não havia uma linha de investimento definida, nem mesmo um acordo a respeito de valores financeiros entre os agricultores e as empresas de biodiesel, acarretando em um acúmulo de óleo no mercado de 2006. Os baixos preços pagos pela saca da semente de mamona aos agricultores locais levaram à inevitável redução da produtividade nos anos subsequentes.

Por acreditarem que a mamona pode ser cultivada em solos pobres com deficiência de nutrientes, os agricultores, devido principalmente ao elevado risco com o investimento, não utilizam fertilizantes no cultivo da mamoneira. A consequência direta para tal prática é a redução de sua produtividade, conforme se observa partir do ano de 2006 (CÉSAR; BATALHA, 2011).

Outro aspecto importante mencionado por Nascimento *et al.* (2011) e que deve ser levado em consideração é o alto custo dos fertilizantes químicos, consequência da alta demanda de energia para a sua produção, o que realmente inviabiliza a aplicação destes pelos pequenos agricultores.

Quanto ao teor de óleo, em todos os tratamentos foi verificado um alto percentual de óleo, com valores de 55,93; 53,63; 55,49; 54,21 e 55,41%, para T1; T2; T3; T4 e T5, respectivamente. Estes resultados foram bem satisfatórios quando comparados com Severino *et al.* (2006b), onde obtiveram uma média de 47,4%, por meio da fertilização orgânica e Souza (2010) com 47,25%. Nada obstante, Oliveira (2011), estudando 143 amostras de sementes de mamona existentes no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Algodão – Paraíba, encontrou um valor de 55,95% para a BRS Nordestina. Conforme Beltrão *et al.* (2006), o teor de óleo na semente varia de 35 a 55%, dependendo da cultivar, das condições ambientais e do modo de extração.

A mamoneira respondeu de forma equivalente aos tratamentos empregados, indicando que o teor de óleo das sementes não sofreu efeito expressivo ( $p > 0,05$ ), quanto ao tipo de adubação e nem quanto ao volume de urina aportado na cultura.

Os resultados desta pesquisa vêm a corroborar com KOUTROUBAS *et al.* (2000), quando afirmam que a produtividade de grãos é o componente de produção que se deve dar mais importância no manejo da mamoneira, pois o rendimento de óleo é menos afetado pelo conteúdo de óleo presente na semente, que apresenta baixa variação.

Verifica-se, desta forma, que a urina proporcionou produtividades equivalentes à fertilização química, sem comprometer a qualidade do óleo, no que diz respeito ao percentual de teor deste produto das sementes.

Em diversas pesquisas já foi demonstrado o benefício do reúso de efluentes domésticos na produção de mamona, principalmente como incentivo a mais para implementação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Considerando os altos preços dos fertilizantes, a inexistência de sistemas de coleta e tratamento de esgotos em zonas rurais e os resultados aqui demonstrados, a urina humana configura mais uma alternativa como fertilizante natural eficaz, de imediata aplicação e adequada à realidade dos pequenos agricultores rurais.

O biodiesel classificado como uma fonte de energia sustentável obtido a partir do cultivo de oleaginosas fertilizadas com urina vem a contribuir para mitigar a depleção dos recursos naturais, reduzindo a eutrofização da água e os impactos provocados sobre o meio ambiente, pela produção e consumo de energia.

De mesmo modo, a prática do uso da urina humana no cultivo da mamona e de outras culturas energéticas pode vir a ser uma alternativa para tornar o biodiesel um produto menos oneroso e mais competitivo, passando a exercer um papel mais importante na matriz energética do Brasil.

### 3.4. Avaliações do impacto da urina no solo

Considerando as classes de interpretações propostas por CFSEMG (1999), o solo da área de estudo, antes do procedimento, apresentava *baixa* acidez (pH entre 6,0 e 6,9) na camada de 0 a 20cm e *média* acidez (pH entre 5,5 e 5,9) na camada de 20 a 40cm; *baixíssima* fertilidade em função da matéria orgânica ( $M.O \leq 0,70 \text{ dag/kg}$ ) em ambas as camadas; *baixa* concentração de cálcio trocável ( $0,41 \leq Ca^{2+} \leq 1,20$ ) em ambas as camadas; *médio* teor de magnésio trocável ( $0,46 \leq Mg^{2+} \leq 0,90 \text{ cmol}_c.kg^{-1}$ ), também, em ambas as camadas e *baixo* valor de capacidade de troca de cátions ( $1,61 \leq T \leq 4,3 \text{ cmol}_c.kg^{-1}$ ) (tabela 4.14).

Tabela 4.14 - Atributos químicos do solo antes do cultivo da mamona, Aquiraz, 2011.

Composição química	Unidade	Camada	
		0-20cm	20-40cm
pH	-	6,1	5,6
Cálcio ( $Ca^{2+}$ )	$cmol}_c.kg^{-1}$	0,98	0,64
Magnésio ( $Mg^{2+}$ )	$cmol}_c.kg^{-1}$	0,71	0,53
Sódio ( $Na^+$ )	$cmol}_c.kg^{-1}$	0,03	0,02
Potássio ( $K^+$ )	$cmol}_c.kg^{-1}$	0,08	0,05
Hidrogênio ( $H^+$ ) + Alumínio ( $Al^{3+}$ )	$cmol}_c.kg^{-1}$	0,83	1,3
Alumínio ( $Al^{3+}$ )	$cmol}_c.kg^{-1}$	0,13	0,3
Soma das Bases (S)	$cmol}_c.kg^{-1}$	1,8	1,27
Capacidade de Troca de Cátions (T)	$cmol}_c.kg^{-1}$	2,62	2,53
Saturação de Base (V)	%	68,7	50,9
Saturação por Alumínio	%	6,9	19,7
Percentual de Sódio Trocável	-	1,2	1,1
Carbono	$g.kg^{-1}$	4,04	3,8
Nitrogênio	$g.kg^{-1}$	0,39	0,38
Relação C/N	-	10,4	10
Matéria Orgânica	$g.kg^{-1}$	6,96	6,63
Fósforo assimilável (P)	$mg.kg^{-1}$	19,8	15,7

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

De forma geral, a aplicação da urina favoreceu a acidificação do solo na camada mais superficial (0 – 20 cm), reduzindo os valores de pH em 4,49; 7,81; 9,47 e 11,13%, respectivamente para T2, T3, T4 e T5. Esta acidificação pode ser explicada pela liberação de cátions de hidrogênio no solo, a partir de reações do nitrogênio amoniacal. Conforme Vale *et al.* (1993) e Bissani *et al.* (2006), a reação de fertilizantes amoniacais e a ureia, durante sua

transformação no solo pelos micro-organismos, libera  $H^+$ . O  $H^+$  produzido libera um cátion trocável para a solução do solo, que quando lixiviado com o ânion acompanhante intensifica a acidificação do solo.

Mesmo com a aplicação do calcário dolomítico, o pH do solo de T1 reduziu em 10,30% após o experimento. Entre os tratamentos com urina, a menor acidificação do solo foi verificada em T2, motivada pelo uso de calcário dolomítico como agente corretivo do pH do solo. Considerando a urina como um fertilizante orgânico, estes resultados podem vir a corroborar com IFA/UNEP (2000), quando afirma que o uso de resíduos orgânicos, nas doses normais de aplicação, pode não evitar a acidificação, mas pode reduzir a velocidade do processo.

Tabela 4.15 - Atributos químicos do solo depois do cultivo da mamona em diferentes tratamentos. (T1 - irrigação com água e adubação química e orgânica; T2 - irrigação com água bruta e aplicação de cal e urina na dose recomendada; T3 - irrigação com água bruta e aplicação de urina na dose recomendada; T4 - irrigação com água bruta e aplicação de 0,5 de urina da dose recomendada e T5 - irrigação com água bruta e aplicação de 1,5 de urina da dose recomendada.). Aquiraz, 2011.

Composição química	Unidade	Camada 0-20cm					
		Antes	T1	T2	T3	T4	T5
pH	-	6,1	5,47	5,80	5,62	5,52	5,42
Cálcio ( $Ca^{2+}$ )	$cmol_c.kg^{-1}$	0,98	1,00	0,80	0,90	0,80	1,00
Magnésio ( $Mg^{2+}$ )	$cmol_c.kg^{-1}$	0,71	0,95	0,70	0,90	0,65	0,60
Sódio ( $Na^+$ )	$cmol_c.kg^{-1}$	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Potássio ( $K^+$ )	$cmol_c.kg^{-1}$	0,08	0,05	0,06	0,07	0,06	0,08
Hidrogênio ( $H^+$ ) + Alumínio ( $Al^{3+}$ )	$cmol_c.kg^{-1}$	0,83	1,24	1,00	0,99	1,24	1,41
Alumínio ( $Al^{3+}$ )	$cmol_c.kg^{-1}$	0,13	0,10	0,05	0,05	0,08	0,10
Soma das Bases (S)	$cmol_c.kg^{-1}$	1,8	2,05	1,55	1,90	1,55	1,70
Capacidade de Troca de Cátions (T)	$cmol_c.kg^{-1}$	2,62	3,25	2,50	2,90	2,75	3,10
Saturação de Base (V)	%	68,7	64,00	62,00	65,00	56,50	55,00
Saturação por Alumínio	%	6,9	5,00	3,00	2,50	4,50	6,00
Percentual de Sódio Trocável	-	1,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Carbono	$g.kg^{-1}$	4,04	4,11	2,91	3,39	3,21	3,81
Nitrogênio	$g.kg^{-1}$	0,39	0,41	0,27	0,31	0,30	0,36
Relação C/N	-	10,4	10,00	11,00	11,00	11,00	10,50
Matéria Orgânica	$g.kg^{-1}$	6,96	7,09	5,02	5,85	5,54	6,57
Fósforo assimilável (P)	$mg.kg^{-1}$	19,8	19,50	11,00	18,50	9,50	19,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

O valor do pH da urina após o período de armazenamento (30 dias) estabilizou-se em aproximadamente 9,0 (figura 3.17). O pH do solo reduziu com o aumento da taxa de aplicação de urina, conforme verificado na tabela 4.15. Isto pode ser explicado pelo fato de a

amônia em contato com o solo sofrer o processo de nitrificação, liberando dois prótons, o que acarreta na redução do pH. Contudo, acredita-se que este fenômeno é temporário, uma vez que após a absorção do nitrato pelas raízes das plantas, dois íons de hidróxido são liberados, o que resultaria na neutralização dos dois prótons presentes no solo (HÖGLUND, 2001 e KASSA *et al.*, 2010).

A redução do pH do solo após o experimento, em todos os tratamentos, não surtiu efeito significativo ao se aplicar os testes estatísticos a um nível de significância de 0,05. Estes mesmos resultados também foram verificados para os outros atributos químicos (complexo sortivo, soma das bases, CTC, saturação de base, saturação por alumínio, PST, C/N, carbono, nitrogênio, matéria orgânica e fósforo assimilável). Ou seja, em geral, os tratamentos empregados não alteraram significativamente o solo quanto à fertilidade e nem quanto à ocorrência de riscos com salinização do solo.

Assim como para o reúso de esgotos tratados, a maior preocupação com o uso de águas amarelas é a elevada concentração de sódio presente, podendo provocar a salinização do solo, tornando evidente a necessidade do seu monitoramento nos solos receptores de urina humana. Enquanto os altos teores de sais afetam, principalmente, as propriedades químicas, o excesso de sódio atua tanto nas propriedades físicas quanto nas químicas (SANTOS *et al.*, 2006). Deve-se salientar, contudo, que o reúso de esgoto tratado, em sua maioria, tem por função a fertirrigação proporcionando a aplicação de grandes volumes de esgoto, já a urina é utilizada apenas como fertilizante, necessitando de baixos volumes em função da cultura a ser fertilizada.

Os valores limites de PST que causam danos à estrutura do solo podem variar para diferentes países, mas de uma maneira geral, adota-se o limite estabelecido pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos que é de 15% (RICHARDS, 1954). Os valores de PST após o experimento não variaram de forma expressiva e apresentaram valores bem abaixo do recomendado pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos.

A condutividade do solo aumentou com o acréscimo da taxa de urina. Enquanto T4 proporcionou um incremento de apenas 4,84% do valor da condutividade do solo antes do experimento, T5 aumentou em mais de 58%. Estes valores indicam a possibilidade de salinização do solo a partir de elevadas taxas de aplicação de urina, também verificadas por Mnkeni *et al.* (2008), com aumento da condutividade elétrica do solo em até 88%. Kassa *et al.* (2010) recomendam aos agricultores a adoção de volumes relativamente maiores da água de irrigação a fim proporcionar a lixiviação dos possíveis sais acumulados presentes na zona de raízes das plantas. Por outro lado, estes autores alertam para a necessidade do correto

manejo da urina e do volume de água de irrigação, pois a adição de muita água pode provocar a percolação dos nutrientes antes mesmo destes serem absorvidos pelas raízes.

O grau de sodificação do solo depende da relação entre as concentrações de sódio, de cálcio e de magnésio (RAS) na solução do solo, o qual pode ser outro fator agravante para o uso da urina, pois a concentração de cálcio é muito baixa, necessitando-se, portanto da adição de agentes ricos em cálcio.

Apesar da concentração de sódio na urina ser bastante elevada, Dagerskog; Bonzi (2010) afirmam que a quantidade de sais aplicada por ano no solo a partir do uso deste biofertilizante não é tão elevada quando comparada com a quantidade advinda das diversas fontes de água de irrigação.

As alterações no solo das concentrações do íon potássio, do nitrogênio e do fósforo podem ser negligenciadas, pois apresentaram pequenas variações, com exceção do valor de fósforo assimilável em T4 que reduziu em mais de 50%, consequência de sua menor taxa de aplicação (T4) e de sua absorção pelas plantas.

## 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 4.1. Conclusões

- Os resultados mostraram que com relação às variáveis, altura da planta e diâmetro caulinar, não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) quando se compararam os tratamentos T1, T2 e T5. Por outro lado, a fertilização química foi capaz de gerar incrementos significativos ( $p<0,05$ ) no número de racemos quando comparada com a biofertilização, alcançando um valor médio de 35% superior a T5, que forneceu o segundo melhor resultado.
- Os pesos de mil sementes foram iguais a 502,4; 487,4; 484,6; 394,7 e 496,8g, respectivamente para T1; T2; T3; T4 e T5. Apesar das diferenças absolutas, não foi possível verificar efeito significativo entre os tratamentos aplicados ( $p>0,05$ ).
- Com relação à produtividade, os resultados dos tratamentos foram bem discrepantes. A fertilização química respondeu de forma significativa e atingiu a maior média ( $p<0,05$ ) no fim do ciclo. As produtividades médias das sementes da mamona foram as seguintes: 1256,7; 1048,5; 671,8; 477,8 e 1081,2 kg.ha<sup>-1</sup>, o que representam diferenças relativas entre o tratamento controle (1256,7 kg.ha<sup>-1</sup>) e os demais, iguais a 16,6; 46,5; 61,9 e 13,9%, respectivamente para T2; T3; T4 e T5. Verificou-se, ainda, que quanto maior a taxa de urina aplicada, melhor foi a resposta de produtividade, considerando a dose máxima aplicada de 1,5 vezes.
- Quanto ao teor de óleo da semente, em todos os tratamentos foi verificado um alto percentual. Os teores médios obtidos foram: 55,9; 53,6; 55,5; 54,2 e 55,4%, para T1; T2; T3; T4 e T5, respectivamente, sem apresentar efeito significativo entre os tratamentos ( $p>0,05$ ).
- A prática do uso da urina humana no cultivo da mamona de forma complementar ou até mesmo substitutiva à adubação química pode vir a ser uma alternativa viável para tornar o biodiesel um produto menos oneroso e mais competitivo, passando a exercer um papel mais importante na matriz energética do Brasil.



- Os tratamentos empregados com urina durante o período de aplicação analisado não alteraram, significativamente, os atributos físico-químicos do solo. Não foi verificado efeito expressivo quanto à fertilidade e nem quanto à ocorrência de riscos com salinização.
- Apesar das análises estatísticas não sugerirem alterações significativas entre os tratamentos aplicados, quanto aos atributos químicos, especificamente o íon sódio; os resultados indicaram que quanto maior a dose de urina aplicada, maior é a condutividade elétrica do solo, sugerindo uma possível salinização a partir de elevadas taxas de aplicação de urina.

#### **4.2. Recomendações**

- Para inferir de forma mais peremptória a respeito do desenvolvimento da planta da mamoneira segundo as concentrações de urina, devem-se realizar novas pesquisas aumentando as doses, visando atingir o ponto crítico, onde após este ocorrerá um decréscimo, possivelmente, linear das variáveis de crescimento.
- Destaca-se que no tocante a não alteração da qualidade do solo, os resultados devem ser considerados muito mais como indicativos que conclusivos, pois o tempo de aplicação da urina foi relativamente pequeno, tendo sido aplicado para apenas um ciclo da cultura da mamona. Com o intuito de avaliar o uso da urina a longo prazo, principalmente quanto aos riscos de salinização do solo, recomendam-se que mais pesquisas sejam realizadas com um maior grau de aprofundamento a fim de evitar possíveis impactos ambientais a longo prazo.
- Recomenda-se, ainda, realizar uma pesquisa com mais tratamentos para verificar a potencialização e a interação da urina com o adubo químico, ou seja, variar as concentrações de urina e os níveis de adubação química.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, G. da S. **Densidade Populacional e seu Efeito no Crescimento e Produtividade da Mamoneira BRS Energia sob Cultivo Irrigado**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Agricultura Tropical, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Areia, Paraíba. 2009.
- AMARAL, J. G. C. **Variabilidade genética para características agronômicas entre progênies autofecundadas de mamona (*Ricinus communis* L.) cv. AL Guarany 2002**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- AMORIM P., Q., R. **Perspectiva Histórica da Cadeia da Mamona e a introdução da Produção de Biodiesel no Semiárido Brasileiro sob o Enfoque da Teoria dos Custos de transação**. 95 p, 2005. Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura. Piracicaba: ESALQ., 2005.
- ARAUJO, A. P. B.; AQUINO, B. F.; LIMA, F. M. B.; MOTA, S.; ARAUJO, M. E. B. . Efeitos das Concentrações Foliaves Crescentes de K sobre as Concentrações Foliaves de P, N, Ca e Mg da Mamona Irrigada com Efluente de Esgoto Tratado. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza-CE. **Anais do XXXII do CBCS**. Viçosa-MG: Editora da SBCS, 2009. v. 1.
- BARROS JÚNIOR, G. **Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona**. 153p, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, 2007.
- BASSO, J. C. **Perdas de Nitrogênio e Fósforo com Aplicação no Solo de Dejetos Líquidos de Suínos**. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia). Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Biodinâmica do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2003.
- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, R. L. S.; QUEIROZ, W. N.; QUEIROZ, W. C. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa informação tecnológica, 2007. p. 45-72.
- BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F. **O cultivo sustentável da mamona no semiárido brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006, 22p. (Comunicado Técnico, 84).
- BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância de seu cultivo no Brasil. **Rev. bras. ol. fibros.**, Campina Grande: Embrapa Algodão, n. 31, p. 7. 1999.
- BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C.; VASCONCELOS, O.L.; AZEVEDO, D.M.P.; VIERA, D.J. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. Cap.2, Fitologia.
- BISSANI, C.A.; MEURER, E.J.; BOHNEN, H. **Solos ácidos e solos afetados por sais**. In: MEURER, E.J. (Ed). Fundamentos de química do solo. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006.

BRAGA, F. L. P.; KHAN, A. S.; MERA, R. D. M. Balanço econômico da produção de mamona e balanço energético da obtenção de biodiesel no estado do Ceará. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, Rio Branco-AC, 20 a 23 de julho de 2008. **Anais...** Rio Branco – AC, 2008. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/9/140.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2012.

BRASIL, Lei n. 11.097, 13 de Janeiro de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília DF (01/14/2005), 2005. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm). Acessado em: 20 de maio de 2012.

BRASIL. Lei nº 11.097, 13 de Janeiro de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF (01/14/2005). Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm) >. Acesso em: 12 nov. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: 2009, 395 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Rio de Janeiro: MAPA/SUDENE, 1973. v. 1, p.301 (Boletim Técnico, 28).

CARLOS, J. A.; AQUINO, B. F.; MOTA, S.; LIMA, F. M. B.; ANJOS, D. C.. Efeitos de Fontes e Doses de Nitrogênio na Produtividade da Mamona Irrigada coÁgua de Poço e Efluente de Esgoto Tratado. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza-CE. **Anais do XXXII do CBCS**. Viçosa-MG: Editora da SBCS, 2009. v. 1.

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

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CÉSAR, A. S.; BATALHA, M. O. Biodiesel production from castor oil in Brazil: A difficult reality. **Energy Policy**, v. 38, p. 4031–4039. 2010.

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LIMA, V. L. A.; NUNES JÚNIOR, E. S.; GUIMARÃES, M. M. B.; DAMACENO, F. A. V. Efeito do lixo orgânico e torta de mamona nas características de crescimento da mamoneira (*Ricinus communis*, L.). **Engenharia Ambiental**, v. 6, n.1, p.259-268, 2009.

COSTA, H. S. **A crise civilizacional e os desafios das alternativas energéticas**. Envolverde, entrevista à revista Carta Capital em 14 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.cartacapital.com.br/carta-verde/a-crise-civilizacional-e-os-desafios-das-alternativas-energeticas>. Acesso em: 17 de janeiro de 2011.

DAGERSKOG, L.; BONZI, M. Opening minds and closing loops – productive sanitation initiatives in Burkina Faso and Niger. EcoSan Club, **Sustainable Sanitation Practice**

**Journals**, Issue 3, 2010. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbkyteitem &type=2&id=1033>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.

DINIZ NETO, M.A.; TAVORA, F.J.A.; CRISOSTOMO, L.A.; DINIZ, B.L.M.T. Crescimento e produtividade de duas cultivares de mamona com diferentes níveis de adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Pentecoste – CE. **Anais...** Salvador – BA, 2008.

EMBRAPA ALGODÃO. **BRS – 149 Nordestina**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 1 folder.

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 (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERNANDES, F.R.C.; DA LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/novolivro.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2012.

FERNANDES, L.B. **Utilização da torta de mamona na adubação da cultura da mamona**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2011.

FERNANDES, M. C. A.; LEITE, E. C. B.; MOREIRA, V. E. **Defensivos alternativos**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. 16 p.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, 2005.

FREITAS, C. A. S. de. **Estudo comparativo do uso de esgoto doméstico tratado e água de poço freático na irrigação de culturas destinadas à produção de biocombustível**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem) Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2011.

FREITAS, S.M.; FREDO, C.E. Biodiesel a base de óleo de mamona: algumas considerações. **Informações Econômicas**, SP, v. 35, n.1, p. 37–42, 2005.

GRONTMIJ. Overview Grontmij references | **Sustainable wastewater treatment**. Catálogo de Projetos. Holanda, [200-].

GUIMARÃES, A. S.; SANTOS, N. R.; BELTRÃO, N. E. M. Fontes e Doses Crescentes de Adubos Orgânicos e Mineral no Crescimento Inicial de Pinhão Manso. **Periódico MENS AGITAT**, Boa Vista, v. 4, n.2, p.17-22, 2009.

GUIMARÃES, M. M. B.; ALBUQUERQUE, R. C.; LUCENA, A. M. A.; COSTA, F.X.; FREIRE, M. A. O.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S. Fontes orgânicas de nutrientes e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE MAMONA. CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS, II. 2006, Aracaju **Anais...** Aracaju, SE, 2006.

GUIMARÃES, M. M. B.; LIMA, V. L. A. DE; BELTRÃO, N. E. M.; COSTA, F. X. Influência de Doses e Tipos de Adubos no Desenvolvimento da Mamoneira BRS Nordestina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Salvador. **Anais...**Energia e ricinoquímica: resumos. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

HÖGLUND, C. **Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source-separated human urine**. 2001. PhD thesis. Royal Institute of Technology (KTH). Department of Biotechnology, Applied Microbiology. Stockholm, Sweden, 2001.

HOLANDA, A. **Biodiesel e Inclusão Social**. Brasília, 2004.

IFA/UNEP - IFA International Fertilizer Industry Association/ United Nations Environment Programme. **O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente**. 2000. Tradução: ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos. Disponível em: [http://www.anda.org.br/multimedia/fertilizantes\\_meio\\_ambiente.pdf](http://www.anda.org.br/multimedia/fertilizantes_meio_ambiente.pdf). Acesso em: 11 set. 2012.

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. **Informe sobre a situação e perspectivas da agroenergia e dos biocombustíveis no Brasil**. 2007. Disponível em: [http://ceragro.iica.int/Documents/situacao\\_e\\_perspectivas\\_biocombustivel\\_no\\_brasil.pdf](http://ceragro.iica.int/Documents/situacao_e_perspectivas_biocombustivel_no_brasil.pdf) . Acesso em: 20 abr. 2012.

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Relatório anual 2009: **A contribuição do IICA para o desenvolvimento da agricultura e das comunidades rurais no Brasil**. Disponível em: <[http://www.iica.org.br/index\\_Publicacoes\\_PublicacoesIICA.htm](http://www.iica.org.br/index_Publicacoes_PublicacoesIICA.htm)> Acesso em: 05 de jul. 2012.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal – Aquiraz**. Secretaria de Planejamento e Gestão – Governo do Estado do Ceará. 2011. Disponível em: [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2011/Aquiraz.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Aquiraz.pdf). Acesso em: 08 de junho de 2012.

JÖNSSON H, STINZING A.R.;VINNERÅS, B.; SALOMON, E. **Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production**, EcoSanRes Publication Series Report 2004-2, Stockholm Environment Institute, Sweden; 2004.

JÖNSSON, H. The role of ecosan in achieving sustainable nutrient cycles. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, 2., abril 2003, Lübeck. **Proceedings...** Lübeck, Germany: GTZ/IWA, 2004. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9258.htm>. Acesso em: 22 mai. 2009.

KASSA, K.; MEINZINGER, F.; ZEWDIE, W. Experiences from the use of urine in Arba Minch, Ethiopia. EcoSan Club, **Sustainable Sanitation Practice Journals**, Issue 3, 2010. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktypitem&type=2&id=1033>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, v.11, p.227-237, 1999.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Water requirements for castor oil crops (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean climate. **J. Agro. & Crop science**, Berlin, p. 33-41, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LEMOS, M. de. **Sistema modular para tratamento de esgoto doméstico em assentamento rural e reúso para produção de girassol ornamental**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA Mossoró, Rio Grande do Norte, 2011.

LIMA, P.C.R. “**O Biodiesel e a Inclusão Social**” Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Brasília, 2004.

LIMA, R. L. S. de; SEVERINO, L. S.; SAMPAIO, L. R.; FREIRE, M. A. O.; SOFIATTI, V.; BELTRÃO, N. E. M. Combinação de casca e torta de mamona como adubo orgânico para a Mamoneira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Salvador. **Anais...Energia e ricinoquímica: resumos**. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

LOBO, T.F.; FILHO, H.G. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v. 7, n. 3, p. 16-25, 2007.

MALÇA, J.; ROZAKIS, S.; FREIRE, F. Análise Energética do Ciclo de Vida de Biocombustíveis: Aplicação à fileira do bioetanol em França. In: JORNADAS POLITÉCNICAS DE ENGENHARIA, 3. Nov. 2003. **Anais... ISEC**, 2003. Disponível em: [http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao\\_energia/\\_folders/my\\_papers/biofuel/3JPE\\_2003.pdf](http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/_folders/my_papers/biofuel/3JPE_2003.pdf). Acesso em: 27 de março de 2012.

MANG, H. P. **Perspective of Bioenergy and Jatropha in China**. International Consultation on Pro-poor Jatropha Development, Rome, Italy, 2008. Disponível em: <http://www.ifad.org/events/jatropha/>. Acesso em: 18 de maio de 2012.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. Relação das Empresas com Selo Combustível Social. Atualizado em 03 mai. 2012. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286313/> Acesso em: 25 jun. 2012.

MENDES, R. de A. **Diagnóstico, análise de governança e proposição de gestão para a cadeia produtiva do biodiesel da mamona (CP/BDMA): o caso do Ceará**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, Ceará, 2005.

MESQUITA, E. F.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C.; ARAÚJO, D. L. FRANÇA, C. P.; LACERDA, R. D. Produção de Mamoneira CV BRS 149 Nordeste Adubada com Nitrogênio, Fósforo e Potássio. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS. 2010, Joao Pessoa. **Anais ...** / Editores Odilon Reny R. F. da Silva e Renato Wagner da C. Rocha – Campina Grande, PB : Embrapa Algodão, 2010.

MNKENI, P.N.S.; KUTU, F.R.; MUCHAONYERWA, P.; AUSTIN, L.M. Evaluation of human urine as a source of nutrients for selected vegetables and maize under tunnel house conditions in the Eastern Cape, South Africa. **Waste Manage. Res. J.** 26, p. 132-139. 2008.

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, R.A.; BRANDÃO, D. da S.; ZUBA, G.R.; FERNANDES, L.A. Crescimento e Produtividade de Sementes de Mamona Tratada com Lodo de Esgoto. **Revista Caatinga, Mossoró**, Rio Grande do Norte, v. 24, n.4, p.145-151, 2011.

NASCIMENTO, J. J. V. R.; TAVARES, M. J. V.; NÓBREGA, J. A.; SEVERINO, L. S.; SOFIATTI, V. Aplicação de Gesso Agrícola para Redução das Deformações da Folha da Mamoneira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Salvador. **Anais...Energia e ricinoquímica: resumos**. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

NASCIMENTO, M. B. H. da; LIMA, V. L. A. de; BELTRÃO, N. E. M.; ADAILSON PEREIRA DE SOUZA, A. P. de; FIGUEIRÊDO, I. C. de M.; LIMA, M.M. Uso de biossólido e de água residuária no crescimento e desenvolvimento da mamona. **Rev. bras. ol. fibros.**, Campina Grande, v.10, n.1/2, p. 1001-1007, jan./ago. 2006.

NASCIMENTO, M. B. H. do; LIMA, V.L.A. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, A.P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: Crescimento e desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA – ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1, 2004. Campina Grande **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004a. 5p.

NETO, M. A.; TÁVORA, F. J. A. F, CRISÓSTOMO, L. A.; DINIZ, B. L. M. T. Crescimento e Produtividade de duas Cultivares de Mamona com Diferentes Níveis de Adubação NPK e Épocas de Plantio. I – Pentecoste – Ce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Salvador. **Anais...Energia e ricinoquímica: resumos**. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

NOBREGA, M.B. de M.; ANDRADE, F.P. de; SANTOS, J.W. dos; LEITRE, E.J. Germoplasma. In: AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, E.F. **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, p. 257-294.

NOGUEIRA, L. A. H. Does biodiesel make sense? **Energy**, v. 36, p. 3659 – 3666. 2011.

OLIVEIRA FILHO, A.F., OLIVEIRA, F. de A.; MEDEIROS, J.F.; MESQUITA, T.O.; ZONTA, E. Crescimento de cultivares de mamoneira sob doses de torta de mamona. **Revista Verde**, v.5, n.5, p. 18-24 (Numero Especial), 2010.

OLIVEIRA, E. M. Avaliação do Teor de Óleo e Peso em Sementes de Mamona Utilizando Diversos Acessos. **Rev. Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 205-211, jan. /mar. 2011.

OLIVEIRA, S. J. C.; FREIRE, M. A. de O.; NASCIMENTO, J. J. V. R. do; TAVARES, M. J. V.; BELTRÃO, N. E. de M. Injúrias provocadas pelo uso de urina de vaca como biofertilizantes em folhas de mamoneira (*Ricinus communis*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Salvador. **Anais...Energia e ricinoquímica: resumos**. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

OLIVEIRA, S.J.C. FREIRE, M.A. de O. NASCIMENTO, J.J.V. TAVARES, M.JV. BELTRÃO, N.E. de M. Injúrias provocadas pelo uso de urina de vaca como biofertilizante em folhas de mamoneira (*Ricinus communis* L). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, III, 2008, Salvador. **Anais...Energia e ricinoquímica: resumos**. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

PESAGRO-RIO. **Urina de vaca: alternativa eficiente e barata**. Niterói, 2002. 8 p. (PESAGRO. Documento, 96).

REIS, L.B.; FADIGAS, E.A.A.; CARVALHO, C.E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United States Salinity Laboratory Staff, 1954.160p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

STINTZING, A. R; RODHE, L.; AKERHIELM, H.; STEINECK, S. Human urine as a fertiliser—plant nutrients, application technique and environmental effects. In: **Proc. 10th Int. Conf. Ramiran 2002 Network**. FAO European System of cooperative Research Network. p. 161–162. 2002.

RODRIGUES, L.N.; NERY, A.R.; FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N. E. de M.; GHEYI, H. R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.825–835, 2009.

SALES, F. M. G. **Resposta da Mamona Irrigada com Esgoto Sanitário Tratado**. 2008. Dissertação, (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem). Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará – UFC, 2008.

SALLET, C.; ALVIM, A. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. **Revista Economia & Tecnologia**, América do Norte, 7, mai. 2012. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/ret/article/view/26828/17793>. Acesso em: 19 Mai. 2012.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis*): Descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA - ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1, 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004a. 7p.

SANTOS, M. de L. F.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, ABES, 2006.

SANTOS, R. F.; KOURI, J.; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. T.; REQUIÃO, L. E. G. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande, PB) 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.26, 2007.

SANTOS, V. M.; CASTRO, H. G.; CARDOSO, D. P.; LIMA, S. O.; LEAL, T. C. A. B.; SANTOS, G. R. Avaliação do crescimento e da produtividade da mamoneira BRS 149 Nordestina em dois níveis tecnológicos. **J. Biotec. Biodivers.** v. 2, n.3: p. 58-66, agosto. 2011.

SAVY FILHO, A; BANZATTO, N. V.; VEIGA, R. F. de A.; CHIAVEGATO, E. J.; CAMARGO, C. E. de O.; CAMPO-DALL'ORTO F. A.; GODOY, I. J. de; FAZUOLI, L. C.; CARBONEL, S. A. M.; SIQUEIRA, W. J. **Descritores mínimos para o registro institucional de cultivares: Mamona**. Campinas: IAC, 1999. 7p. (Documentos IAC, 61).



SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. de M.; LUCENA, A. M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.1, p. 650-655, 2004.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S ; CARDOSO, G. D. ; VIRIATO, J. R. ; BELTRÃO, N. E. M . Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006b.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; FREIRE, W.S.A.; CASTRO, D.A.; CARDOSO, G.D.; BELTRÃO, N.E.M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macro e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.563-568, 2006a.

SILVA, A. F.; ANJOS, J. B.; DRUMOND, M. A.; MILANE, M.; NÓBREGA, M.B.M.; SUASSUNA, T.M.F. Avaliação preliminar de cultivares de mamona em condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA - ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1, 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. 4p.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

SOUTO, L.S; SILVA, L.M. da; LOBO, T.F.; FERNANDES, D.M.; LACERDA, N.B. Níveis e formas de aplicação de lodo de esgoto na nutrição e crescimento inicial da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.274-277, 2005.

SOUZA, A. dos S. **Manejo cultural da mamoneira: época de plantio, irrigação, espaçamento e competição de cultivares**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, Ceará. 2007.

SOUZA, A. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, R. M. M. Teor de Óleo e Massa de Mil Sementes da Mamoneira Cultivada em Diferentes Espaçamentos e Épocas de Plantio. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA e I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS. 2010, Joao Pessoa. **Anais ...** / Editores Odilon Reny R. F. da Silva e Renato Wagner da C. Rocha – Campina Grande, PB : Embrapa Algodao, 2010.

SOUZA, J. T. A.; FERREIRA, T. C.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, S. J. C. Comportamento de mudas de mamoneira (*Ricinus communis* L.) sob diferentes dosagens de urina de vaca. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS. 2010a, Joao Pessoa. **Anais ...** / Editores Odilon Reny R. F. da Silva e Renato Wagner da C. Rocha – Campina Grande, PB : Embrapa Algodao, 2010a.

SOUZA, N. C. **Produtividade da mamona, irrigada com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Mestrado em Engenharia Civil – Área de concentração: Saneamento Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza-CE, 2006

SOUZA, N. C.; MOTA, S. B.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; DOS SANTOS, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.5, p.478–484, 2010c.

SOUZA, J. T. A.; FARIAS, A. L. de.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, S. J. C. Avaliação da Fitomassa Epígea e Hipógea em Mudanças de Mamoneira (*Ricinus Communis L.*) sob Diferentes Dosagens de Urina de Vaca. IV CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS. 2010b, Joao Pessoa. **Anais ...** / Editores Odilon Reny R. F. da Silva e Renato Wagner da C. Rocha – Campina Grande, PB : Embrapa Algodao, 2010b.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

VALE, F.R.; Guilherme, L.R.G. & Guedes, G.A.A. **Fertilidade do Solo - Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes de Plantas**. Lavras, ESAL/FAEPE, 1993. 171 p.

VANGUARDA AGRO. **Biodiesel** – Introdução. 2010. Disponível em: <<http://www.v-agro.com.br/>>. Acesso em 12 ago. 2012.

VAZ, P.H.M.; SAMPAIO, Y. Quais as Perspectivas da Produção de Biodiesel de Mamona no Nordeste Brasileiro? In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO e SOCIOLOGIA RURAL, XLVI. jul. 2008, Rio Branco-AC. **Anais...2008**, Rio Branco - AC Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/9/140.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2012.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F. Importância socioeconômica e melhoramento genético da mamoneira no Brasil. In QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro**. Disponível em: <<http://www.cpatna.embrapa.br>>. Acesso em: 05 ago. 2008.

WAFLE, M.; WERNER, C. Ecosan Project Experiences in German Development Cooperation – Examples, Obstacles and Opportunities. In: **8th sp. conference on small water & wastewater systems & 2nd sp. conference on decentralized water & wastewater int. network**, Coimbatore, Índia, 2008. Disponível em: <http://www2.gtz.de/dokumente/oe44/ecosan/nl/en-gtz-ecosan-project-examples-obstacles-and-opportunities-india-2008.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2012.

XAVIER, J. de F.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; ALBUQUERQUE, R. S. Efeitos de Águas Residuárias de Indústrias de Campina Grande na Produção de Fitomassa da Mamoneira, Cultivar BRS Nordestina. IV CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS. 2010, Joao Pessoa. **Anais ...** / Editores Odilon Reny R. F. da Silva e Renato Wagner da C. Rocha – Campina Grande, PB : Embrapa Algodao, 2010.

XAVIER, J. F.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. R. S.; LIMA, V. L. A. Crescimento da mamoneira sob diferentes tipos de águas residuárias e níveis de água no solo. **Ambi-água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 196-210, 2009.

## 5° CAPÍTULO

---

## USO DA URINA HUMANA COMO FERTILIZANTE NATURAL NA CULTURA DO MILHO HÍBRIDO

---

### RESUMO

Esta etapa teve como objetivo avaliar a resposta da cultura do milho híbrido em termos de produtividade e crescimento, quando fertilizado com urina humana. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e duas repetições. Os tratamentos aplicados foram: T1 - irrigação com água bruta e adubação orgânica; T2 - irrigação com água bruta e adubação química; T3 - irrigação com água bruta e aplicação de urina na dose recomendada; T4 - irrigação com água bruta e aplicação de 0,5 de urina da dose recomendada e T5 - irrigação com água bruta e aplicação de 1,5 de urina da dose recomendada. Os resultados mostraram que com relação às variáveis, altura da planta e índice de espigas, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) quando se comparou os tratamentos aplicados. A fertilização química e a aplicação da urina proporcionaram incrementos significativos ( $p < 0,05$ ) tanto no diâmetro, quanto no comprimento da espiga, quando comparados com a adubação orgânica (esterco curtido). As produtividades médias das espigas despalhadas foram iguais a 5068,8; 7937,5; 8831,3; 7393,8 e 10006,3 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para T1; T2; T3; T4 e T5, representando efeito expressivo entre aplicar urina na taxa de 1,5 ou 1 e aplicar urina na taxa de 0,5 ou adubo químico. Todavia, T1 (adubo orgânico) alcançou a menor produtividade, diferindo dos demais tratamentos. Logo, o peso das espigas variou conforme o tipo de adubação (química ou urina) e quanto ao volume de urina aplicado. A urina se mostrou como um potencial praguicida à lagarta-do-cartucho, pois nenhuma das plantas que recebeu este tratamento foi acometida por tal praga, a qual prejudicou a produtividade do tratamento com NPKS. Do ponto de vista experimental, o presente estudo evidenciou resultados promissores acerca da utilização de urina humana na fertilização de *Zea mays*, indicando um potencial da aplicação deste excreta na agricultura com intuito de reduzir o consumo ou até em alguns casos substituir o uso de fertilizantes químicos.

**Palavras-chave:** urina, milho híbrido, uso na agricultura.

## USE OF HUMAN URINE AS NATURAL FERTILIZER FOR NA HYBRID CORN CROP

---

### ABSTRACT

This research evaluated the response of corn hybrids in terms of productivity and growth when fertilized with human urine. The design of the experiment was randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments were: T1 - irrigation with raw water and organic manure; T2 - with raw water irrigation and chemical fertilization, T3 - irrigation with raw water and application of urine at the recommended dose; T4 - with raw water irrigation and application of 0, 5 of the recommended dose and urine T5 - with raw water irrigation and application of 1.5 urine recommended dose. Concerning plant height and ear index, there was no significant difference ( $p > 0.05$ ) when comparing the treatments applied. The application of chemical fertilizer and urine yielded significant increases ( $p < 0.05$ ) both in diameter and in length of the ear, when compared with organic fertilizer (manure tanned). The average productivity of husked ears were equal to 5068.8, 7937.5, 8831.3, 7393.8 and 10006.3 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, for T1, T2, T3, T4 and T5, representing a significant effect between urine applied at the rate of 1.5 or 1 and urine at the rate of 0.5 or chemical fertilizer. However, with results already expected, T1 (organic fertilizer) achieved the lowest yield, differing from the other treatments. Thus, the weight of spikes varied according to the type of fertilizer (chemical or urine) and also to the volume of urine applied. The urine showed to be a potential pesticide to *Spodoptera frugiperda*, because none of the plants that received this treatment was affected by this plague, which adversely affected the productivity of treatment with NPKS. From the experimental point of view, this study showed promising results on the use of human urine to fertilize *Zea mays*, indicating a potential application of excreta in agriculture in order to reduce consumption or even in some cases to replace the use of chemical fertilizers.

**Keywords:** urine, corn hybrids, reuse.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. *Utilização da urina como fertilizante natural em culturas alimentícias.*

Diferentemente do reúso de efluentes, a pesquisa e a prática do uso da urina humana, em grande escala, no cultivo agrícola, são uma realidade bem mais recente. Entretanto, quando se trata de escala residencial, a urina já vem sendo utilizada como fertilizante há séculos, em diversos países, principalmente os orientais (JÖNSSON *et al.*, 2004). Estas antigas práticas de separação e aproveitamento de excretas vem sendo pesquisadas com intuito de reciclar os nutrientes, utilizando para tanto técnicas sustentáveis e de fácil aplicação. De acordo com Karak; Bhattacharyya (2011), Kirchmann, Pettersson, Jönsson, Stinzing, Vinnerås e Salomon foram os primeiros a usar a urina como fertilizante em experimentos científicos, em meados de 1995, na Europa.

Diversos estudos a respeito do uso de urina em culturas alimentícias já foram realizados na Europa, Ásia e África, com poucos trabalhos na América Latina e América do Norte. A tabela 5.1 traz as principais pesquisadas realizadas sobre o assunto nos continentes europeu, asiático e africano.

Tabela 5.1 - Principais bibliografias sobre uso de urina humana em culturas alimentícias.

<b>Tipo de cultura</b>	<b>Objetivo da Pesquisa</b>	<b>autor</b>
Cevada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> )	Produtividade da cevada sob diferentes taxas de aplicação	Johansson <i>et al.</i> (2001)
Cevada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> )	Avaliar a taxa de emissão de amônia na aplicação da urina no cultivo da cevada	Rodhe <i>et al.</i> (2004)
Milho ( <i>Zea Mays L.</i> )	Avaliar o uso de excretas humanas (urina e fezes) no cultivo do milho	Guzha <i>et al.</i> (2005)
Repolho ( <i>Brassica oleracea L.</i> )	Avaliar características químicas, microbiológicas e a qualidade do sabor	Pradhan <i>et al.</i> (2007)
Pepino ( <i>Cucumis sativus L.</i> )	Comparar o uso da urina com o fertilizante comercial	Heinonen-Tanski <i>et al.</i> (2007)
Trigo ( <i>Triticum aestivum L.</i> )	Avaliar o crescimento da cultura aplicando tratamentos com estruvita e zeólitos	Ganrot <i>et al.</i> (2007)
Trigo ( <i>Triticum aestivum L.</i> )	Avaliar os impactos ambientais da substituição do fertilizante mineral por urina	Tidåker <i>et al.</i> (2007)
Milho ( <i>Zea Mays L.</i> )	Comparar a urina humana e a ureia como nutrientes no cultivo do milho; tomate; cenoura e beterraba	Mnkeni <i>et al.</i> (2008)
Tomate ( <i>Solanum lycopersicum L.</i> )		
Cenoura ( <i>Daucus carota L.</i> )		
Beterraba ( <i>Beta vulgaris L.</i> )		
Tomate ( <i>solanum lycopersicum L.</i> )	Avaliar características químicas, microbiológicas e a qualidade do sabor	Pradhan <i>et al.</i> (2009)
Milho ( <i>Zea Mays L.</i> )	Avaliar o crescimento com e sem a aplicação de urina	Kassa <i>et al.</i> (2010)
Azevém ( <i>Lolium perenne L.</i> )	Investigar os efeitos de fármacos presentes na urina no cultivo do azevém	Winker <i>et al.</i> (2010)
Beterraba ( <i>Beta vulgaris L.</i> )	Avaliar características químicas, microbiológicas e a qualidade do sabor	Pradhan <i>et al.</i> (2010a)
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor L.</i> )	Comparar o uso da urina, fertilizante mineral e adubo no cultivo de sorgo em região de condições semi-áridas	Germer <i>et al.</i> (2011)
Quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> )	Analisar a aplicação de diferentes doses de urina em comparação com o fertilizante mineral	Akpan-Idiok <i>et al.</i> (2012)
Espinafre ( <i>Spinacea oleracea L.</i> )	Analisar o crescimento da cultura sob diferentes formas de aplicação	Sene <i>et al.</i> (2012)

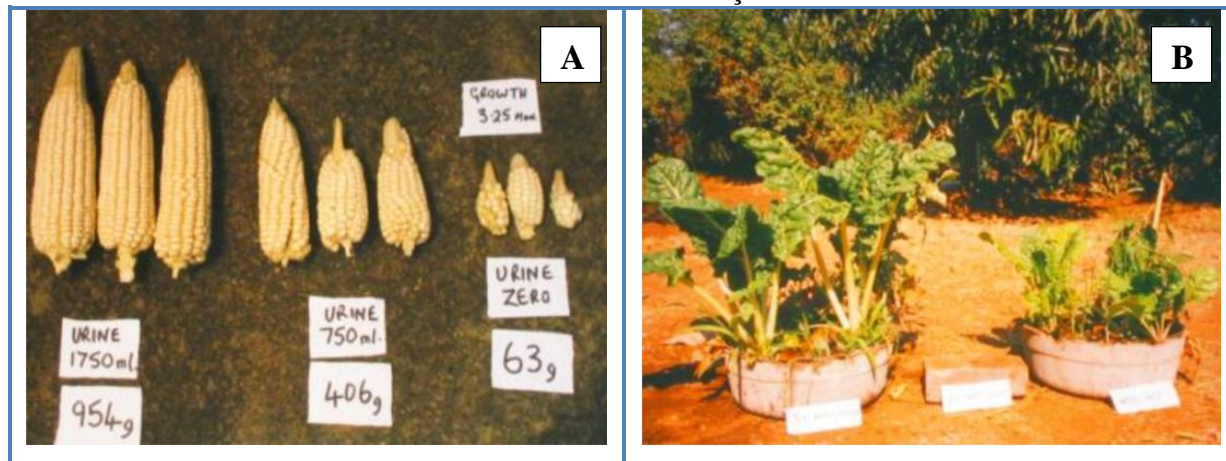
Fonte: Autor (2013)

Na Suécia, de 1997 a 1999, foram realizadas as primeiras pesquisas do uso da urina humana como fertilizante em campo. Durante estes dois anos, a urina foi aplicada no cultivo de cevada, e os principais resultados indicaram que 90% do nitrogênio presente na

urina foram capazes de proporcionar os mesmos efeitos correspondentes à aplicação do fertilizante químico (JOHANSSON *et al.*, 2001; RODHE *et al.*, 2004).

Morgan (2003) direcionou seus estudos na avaliação da urina em plantas de rápido crescimento, que podem ser cultivadas nos jardins de residências. Este autor acredita que a urina é uma ótima alternativa para incrementar a produtividade de vegetais e frutas cultivadas por agricultores de subsistências, uma vez que os fertilizantes minerais não são considerados por estes como uma opção vantajosa, devido seu custo elevado. Os resultados da comparação da produtividade entre as culturas que receberam tratamento controle, ou seja, apenas água, e as culturas que receberam a urina apontaram diferenças superiores a 1,5 vezes. Dentre os diversos vegetais pesquisados, alface, espinafre, tomate, entre outros; a urina proporcionou um aumento de 35 vezes na produtividade do milho em comparação com o tratamento controle. A figura 5.1 ilustra esta diferença, onde apresenta espigas de milho e mudas de espinafre fertilizadas com urina e sem urina. A urina incrementou a produção destas culturas, entretanto nenhuma análise estatística foi efetuada.

Figura 5.1 – Comparação das espigas de milho (A) e mudas de espinafre (B) fertilizadas com urina e sem fertilização.



Fonte: Morgan (2003)

Pradhan (2010b) estudou os efeitos do uso da urina com e sem a adição de cinzas, nas características químicas, microbiológicas e na qualidade do sabor de diversos vegetais, dentre eles, o repolho, o tomate e a beterraba. Os resultados do estudo com a cultura do repolho indicaram que, ao comparar com o fertilizante químico, a urina não apresentou, de forma significativa, riscos sanitários e nem qualquer alteração de seu sabor (PRADHAN, 2007). Quanto às pesquisas com tomate e beterraba, Pradhan (2009) e Pradhan (2010a)



sugerem que a urina com e sem adição de cinzas pode ser utilizada de forma segura como substituto ao fertilizante químico, proporcionando o aumento de suas produtividades.

Resultados similares foram obtidos por Heinonen-Tanski *et al.* (2007), em que obtiveram uma produtividade média do cultivo de pepino em clima nórdico similar ou levemente superior ao tratamento controle, constituído de fertilização química. Quanto ao teste de sabor, foi verificada diferença estatística entre as amostras ( $p < 0.05$ ), contudo não foi relatada qualquer preferência particular, e todos os avaliadores classificaram as amostras como de bom gosto e de boa textura.

Mnkeni *et al.* (2008), após pesquisar a aplicação da urina nas culturas de milho, tomate, cenoura e beterraba, concluiu que este fertilizante natural proporciona efeitos comparados à ureia como fonte de nitrogênio, contudo as taxas de aplicação dependem da sensibilidade da cultura à salinidade do solo. Estes autores sugerem um monitoramento deste parâmetro ao se fazer uso da urina na agricultura.

Utilizando urina sintética em experimentos de jarros na Universidade de Hokkaido, no Japão, Sene *et al.* (2012) concluíram que a forma de aplicação deste fertilizante é mais aconselhável de forma fracionada, com a primeira aplicação após duas semanas da sementeira. Devido à limitação de fósforo na urina, estes autores recomendam, ainda, o uso combinado da urina com cinzas ou com produto da compostagem, com vistas ao aumento da produtividade em solos arenosos.

Dentre os exemplos práticos de aplicação da urina em escala real, destacam-se casos na China, cidade de Dongsheng; na Índia, cidades de Tamilnadu, Karnataka e Bangalore; na Suécia, cidades de Vaxholm e Uppsala; na Etiópia; no México; cidades do México e Tepoztlán; no Quênia, em Nakuru; na Tanzânia, cidade de Arusha; em Uganda, cidade de Kitgum; em Mali, na Bolívia, cidade de El Alto; no Perú, cidade de Juliaca; na Alemanha; no Nepal; no Vietnã e na África do Sul. (KASSA *et al.*, 2010; RICHERT *et al.*, 2010; JÖNSSON *et al.*, 2004; SHAW, 2010). De acordo com as estimativas da GTZ, em 2012, são mais de 3.110.000 usuários de tecnologias de saneamento sustentáveis, dentre os quais 1.710.000 utilizam os sanitários separadores de excretas (GTZ, 2012).

A partir da pesquisa bibliográfica realizada, não foi identificada a existência de usuários permanentes de sanitários separadores de excretas no Brasil, nem relatos de casos práticos, em escala real, do uso da urina na agricultura. Contudo, desde 2005, alguns pesquisadores e técnicos já vêm estudando o uso da urina em culturas alimentícias, onde se destacam os trabalhos desenvolvidos na Universidade Federal do Espírito Santo por Rios *et*

al. (2007), Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e Universidade de São Paulo.

Autores como, Heinonen-Tanski (2007), acreditam que o uso da urina, de forma adequada, na agricultura, poderia beneficiar milhões de pessoas que vivem nas regiões tropicais e semitropicais por meio do aumento da produtividade de culturas alimentícias, seja em pequenas plantações ou mesmo no cultivo destas em jarros nas próprias residências.

Considerando que o pobre agricultor de subsistência não possui recursos suficientes para a compra de fertilizantes, a OMS afirma que o uso de excretas humanas na agricultura pode afetar positivamente a pobreza em diversas formas, dentre elas: a redução da desnutrição, por meio da melhora da segurança alimentar e enriquecimento nutricional, e o aumento dos rendimentos a partir da venda da colheita excedente (WHO, 2006).

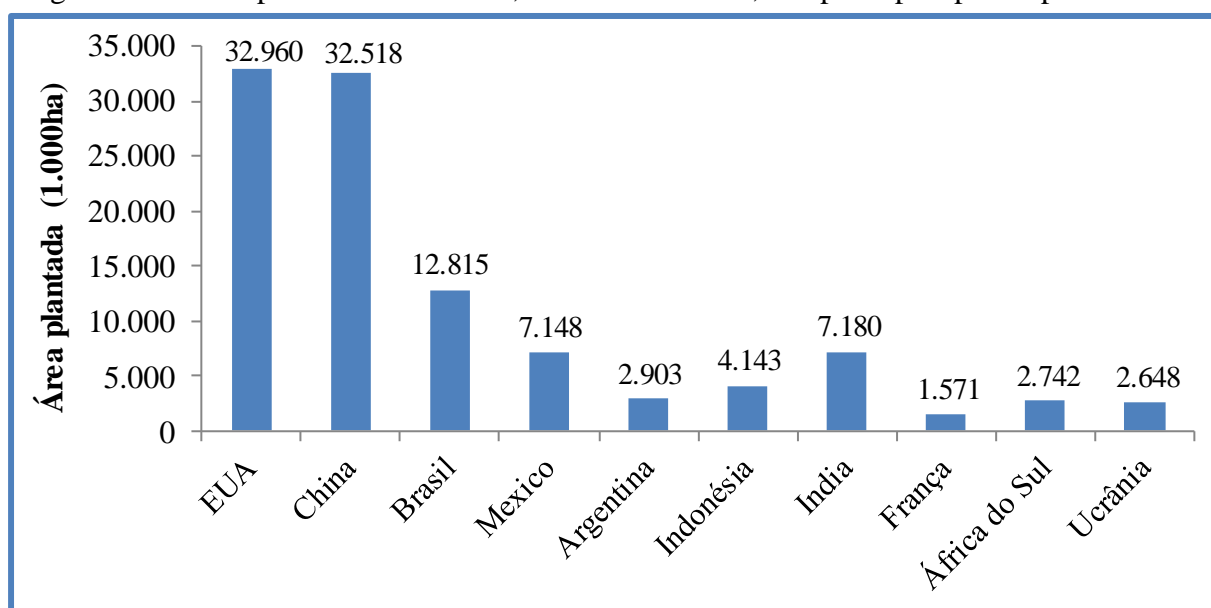
Quanto à regulamentação do uso de excretas na agricultura, pouquíssimos países avançaram nesse sentido. Apesar de não trazer de forma explícita, a proibição ou permissão do uso destas na agricultura, países europeus, como a Suécia e Finlândia já fazem menção ao reuso de lodo e das águas cinza em suas legislações ambientais (KUISMA, 2008). O estado da Califórnia nos Estados Unidos da América, também, possui sua regulamentação quanto ao uso das águas cinza na agricultura e não menciona qualquer tipo de proibição ao uso de excretas nas residências (ALLEN, 2010).

### **1.2.A cultura milho: importância, características e produtividade.**

A planta de milho é anual, normalmente robusta, classificada como monocotiledônea, pertencente à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, e com o nome científico da espécie *Zea mays* (L.). Por ser uma cultura de origem tropical, para se desenvolver, o milho necessita de calor e umidade adequada. Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais como as variações na disponibilidade térmica e de radiação solar, exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho. Por razões essencialmente econômicas, o milho tem sido plantado principalmente no período chuvoso, uma vez que a cultura demanda um consumo mínimo de 350-500 mm para garantir uma produção satisfatória sem necessidade de irrigação. (KAPPES, 2010; CRUZ, 2011; FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; HANASHIRO *et al.*, 2012; CRUZ, 2006).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, totalizando 57,4 milhões de toneladas na safra 2010/2011. A figura 5.2 traz a área plantada com milho, em 2010, nos principais países produtores.

Figura 5.2 – Área plantada com milho, em 1000 hectares, nos principais países produtores.



Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2010)

A importância econômica da cultura do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, sendo que o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (cerca de 70% no mundo). Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a este fim, enquanto que no Brasil, varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; CRUZ, 2011).

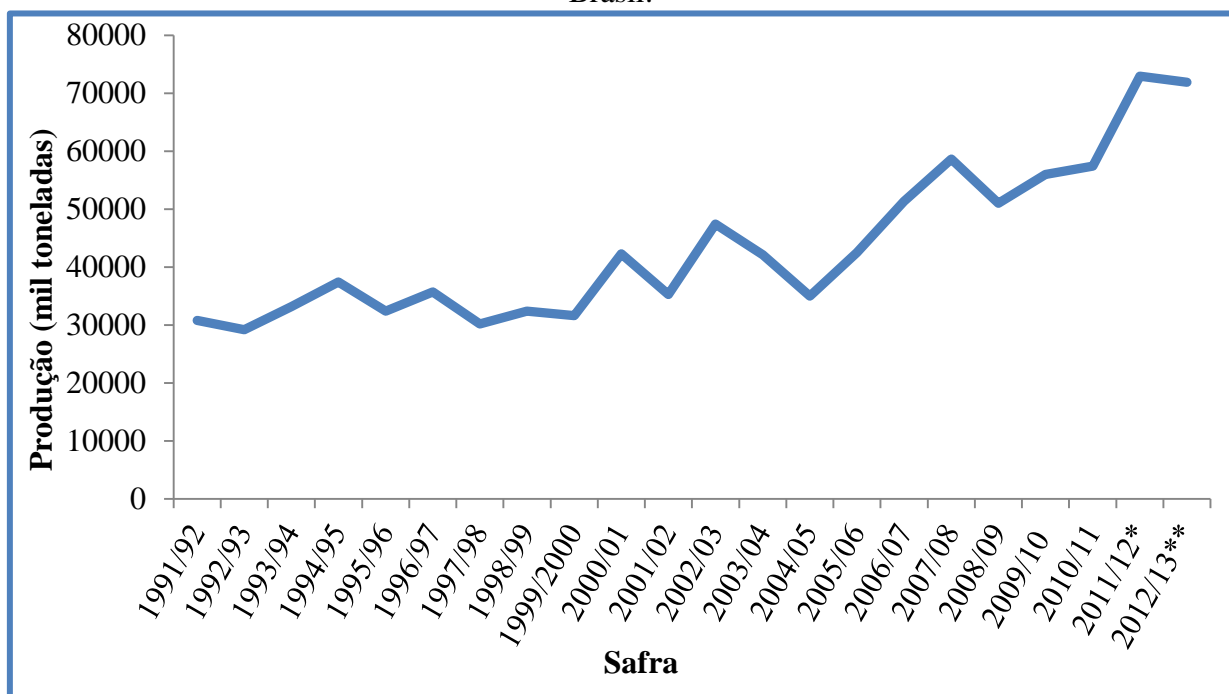
O milho é cultivado em praticamente todo o território brasileiro, sendo que 90% da produção concentraram-se nas regiões Sul (40,76% da produção), Sudeste (19,13% da produção) e Centro-Oeste (30,18% da produção) (CRUZ, 2011). Conforme Castro (2010), essa cultura se destaca por estar entre os cereais mais produzidos no Brasil, possuindo elevada importância no Nordeste, principalmente, visando às produções de milho verde e de grãos. O consumo de milho no estado “verde” sempre foi uma tradição no Brasil e hoje é comum a comercialização tanto do milho verde como de seus produtos (pamonha, canjica, suco, etc.) durante o ano todo, nos principais centros consumidores (PEREIRA FILHO, 2002).

Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda. Dentre os produtos de relevância para o Ceará encontra-se o milho, pois além de estar incorporado à dieta básica das famílias dos produtores é bastante utilizado pela população urbana (alimento rico em energia e de preço relativamente baixo) (DUARTE *et al.*, 2010; SILVA, *et al.*, 2006).

Segundo Galvão; Miranda (2004), a produção de milho tem crescido (figura 5.3), no entanto seu consumo tem aumentado mais que a produção. Estes autores afirmam, ainda, que a inversão desta situação somente será alcançada com o uso de tecnologias apropriadas e orientação técnica segura no planejamento, semeadura e condução da lavoura, as quais nem sempre estão relacionadas ao aumento do custo de produção.

Para Inácio (2011), atualmente o Brasil é um dos maiores produtores deste grão no mundo, o qual é produzido em grande escala, embora a produção não seja suficiente para atender a demanda do mercado interno.

Figura 5.3 – Série histórica de produção do milho de 1991/92 a 2012/13 (1ª e 2ª safra) no Brasil.



\*Dados Preliminares: sujeitos a mudanças

\*\*Dados Estimados: sujeitos a mudanças

Fonte: Adaptado de CONAB (2012)

Vale destacar que segundo, “Perspectivas para a Agricultura 2011-2020”, divulgado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em conjunto com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), os custos de produção subirão e a taxa de crescimento da produtividade será menor. De acordo com esse estudo até o final desta década, o preço do milho deve subir, em média, 20% em termos reais. A maior produção continuará sendo a dos EUA, com boa parcela sendo destinada ao etanol (AGRIANUAL, 2012).

Até o momento, as principais pesquisas do uso da urina em culturas alimentícias foram focadas na avaliação de aspectos qualitativos, como concentrações de nitrogênio, fósforos, micronutrientes e contaminantes químicos e microbiológicos nas plantas, por meio do uso de jarros em casa de vegetação. No Brasil, não foi encontrada nenhuma bibliografia a respeito da aplicação deste excreta em campo, sob condições reais de temperatura, radiação solar, umidade, precipitação e interação do sistema solo-planta. As respostas em ensaios de campo e em casa de vegetação podem ser totalmente divergentes, pois os primeiros apresentam resultados variáveis conforme a cultivar e local onde os experimentos foram conduzidos, já, os últimos estão sob acentuado controle das condições ambientais e homogeneidade das características do solo.

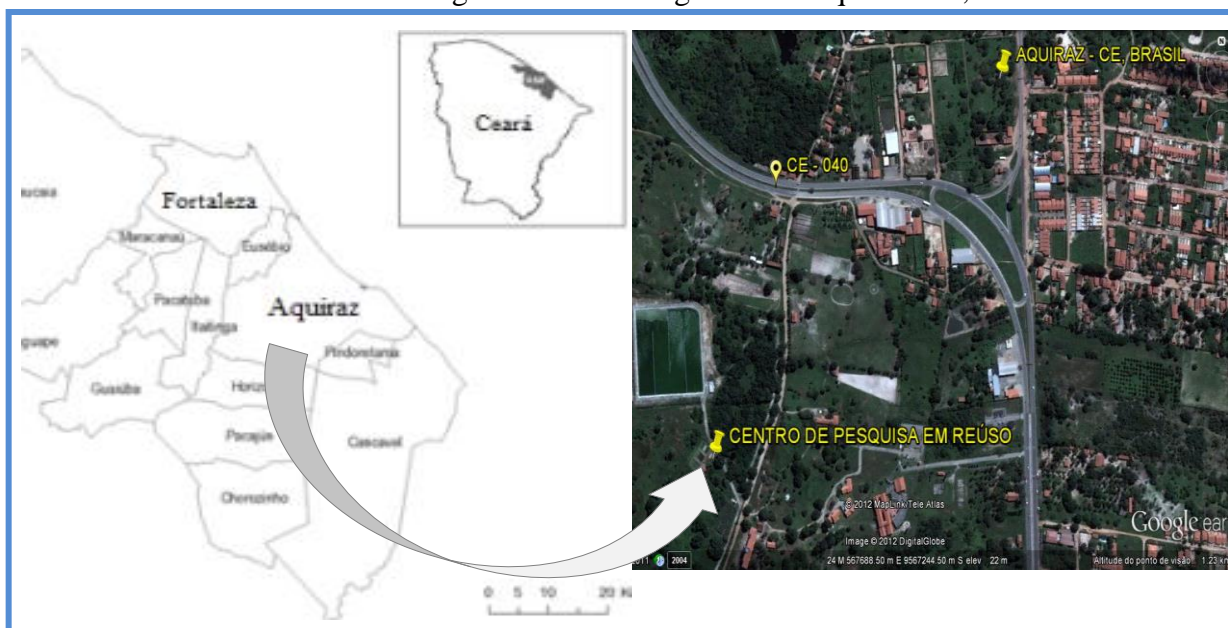
Portanto, a partir de uma pesquisa de campo inédita no Ceará e, provavelmente, no Brasil, sob as circunstâncias já apresentadas, o presente capítulo teve como objetivo avaliar a possibilidade de uso da urina como fertilizante natural na produção de cultura alimentícia (milho híbrido), por meio da análise de variáveis de produção e de crescimento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de novembro de 2009 a fevereiro de 2010 em uma área anexa à estação de tratamento de esgotos do município de Aquiraz, na região metropolitana de Fortaleza pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, cujas coordenadas geográficas de referência são: 3° 54' 05" de Latitude (S), 38° 23' 28" de Longitude (W) e 14,2 m de altitude (ver figura 5.4). O projeto desta área foi desenvolvido pela CAGECE e pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Figura 5.4 – Mapa de localização do centro de pesquisa em reúso da Cagece/ Universidade Federal do Ceará. Imagem Satélite Google Earth. Aquiraz-CE, 2012.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

#### 2.1.1. Clima

Mesma característica já mencionada no capítulo 4.

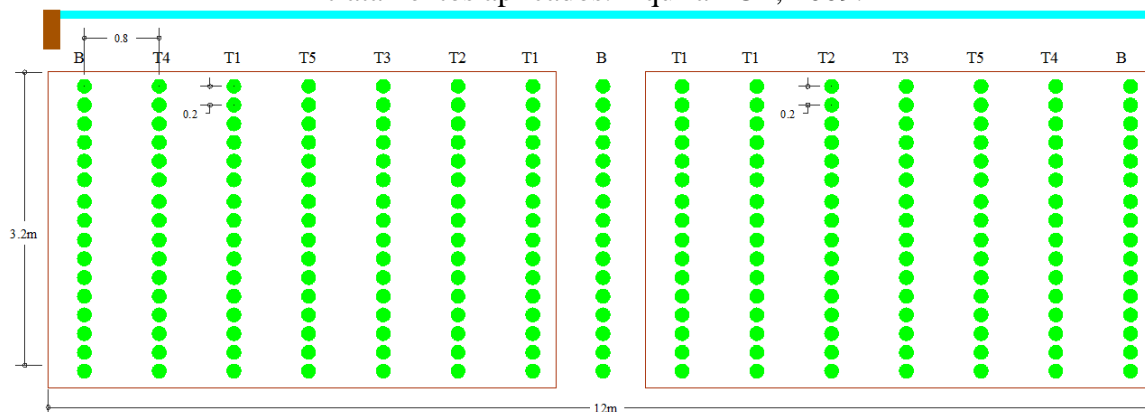
#### 2.1.2. Solo

O mesmo utilizado no capítulo 4, com os experimentos da mamona.

## 2.2. Delineamento experimental e tratamentos empregados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e duas repetições. A área de plantio, de 38,4 m<sup>2</sup>, (3,2 m x 12 m) foi subdividida em dois blocos medindo 19,2 m<sup>2</sup> (3,2m x 6m), com espaçamento entre plantas de 0,20m e espaçamento entre linhas de 0,80m. Foram reservadas ainda as linhas laterais e uma linha central separando os blocos. Conforme figura 5.5, cada bloco continha 6 linhas de plantio com 16 plantas, onde os tratamentos eram aplicados em um total de 192 plantas na área de plantio.

Figura 5.5 – Croqui da área de plantio, linhas principal e secundárias e esquema dos tratamentos aplicados. Aquiraz-CE, 2009.



T1: irrigação com água e adubação de fundação do solo (Tratamento Controle)

T2: irrigação com água bruta e adubação de fundação e de cobertura (NPKS)

T3: irrigação com água bruta e urina

T4: irrigação com água bruta e 0,5 de urina

T5: irrigação com água bruta e 1,5 de urina

B: Planta de borda

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Foram estudados 5 tipos de tratamento: T1 - irrigação com água bruta e adubação de fundação com esterco curtido; T2 - irrigação com água bruta e adubação de fundação e de cobertura (NPKS + esterco curtido); T3 - irrigação com água bruta e dose de urina recomendada; T4 - irrigação com água bruta e metade da dose de urina recomendada; T5 - irrigação com água bruta e 1,5 da dose de urina recomendada. Além desses cinco tratamentos, foram inseridas mais duas linhas repetindo o T1 - irrigação com água bruta e adubação de fundação do solo com esterco curtido.

A aplicação da urina no solo tinha como objetivo exclusivo prover os compostos necessários para o desenvolvimento das plantas. Portanto, todos os tratamentos receberam água bruta de poço como fonte hídrica. Os tratamentos adotados na pesquisa estão descritos na tabela 5.2 e a caracterização físico-química da água do poço na tabela 5.3.

Tabela 5.2 - Tratamentos aplicados no cultivo do milho. Aquiraz-CE, 2009.

Tratamento	Descrição	Tipo de fertilizante
T1	Controle: adubação orgânica	Orgânico (Esterco curtido)
T2	Fertilizante comercial	Orgânico (Esterco curtido) e Químico (Uréia, Superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE BR12)
T3	Urina	Natural (urina)
T4	Metade da dose de urina	Natural (urina)
T5	1,5 da dose de urina	Natural (urina)

Fonte: AUTOR, 2013

Tabela 5.3 - Características físico-químicas da água utilizada na irrigação do milho. Aquiraz-CE, 2009.

Parâmetros	Análise	Unidade	Água Bruta
<b>Físico</b>	Temperatura	°C	28,0
	pH		6,8
<b>Químico</b>	Condutividade	µS/cm	328,0
	Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	28,0
	Amônia	mgNH <sub>3</sub> /L	0,4
	Nitrato	mg/L	<0,5
	Norg	mg/L	0,6
	Fósforo	mg/L	0,3
	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	46,0
	Cloreto	mg-Cl/L	40,0
	Sódio	mg/L	35,0
	Potássio	mg/L	5,0
	Cálcio	mg/L	5,2
Ferro	mg/L	0,1	

Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

De posse dos resultados da análise química do solo realizou-se a recomendação de adubação para a cultura do milho. No tratamento controle (T1), utilizou-se apenas o adubo orgânico. Os valores aplicados de adubo químico no tratamento 2 (T2) foram os seguintes: 60 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, correspondendo a 10 gramas de ureia por metro linear; 90 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo, representado por 40 gramas de superfosfato simples, e 45 kg.ha<sup>-1</sup> de potássio, ou seja,



6 gramas de cloreto de potássio. Quanto ao adubo orgânico, foi aplicado esterco curtido na taxa de 5,0 litros por metro linear em todos os tratamentos.

A aplicação do adubo orgânico em T1 foi realizada de forma total na fundação. A fertilização de T2 foi realizada de modo convencional em linhas, e por ocasião do plantio aplicou-se em fundação todo o fósforo e potássio recomendado, enquanto a aplicação do nitrogênio foi parcelada em duas vezes, 1/2 em fundação e 1/2 aos 45 dias em cobertura. Foi utilizado, ainda, como agente corretivo do pH o calcário dolomítico, na taxa de 100 gramas por metro linear. Como fonte de micronutrientes, foi selecionado o produto FTE BR 12, sendo aplicada a quantidade de 5 gramas por metro linear.

### **2.3. Cálculo da demanda de urina e aplicação**

Com a caracterização físico-química mostrada no capítulo 3, foi possível calcular o volume de urina a ser aplicado por metro linear, a partir da demanda nutricional da cultura, constituindo de 4,8gN/mL, ou 60kg.ha<sup>-1</sup>.

Utilizando a média de 5638,5mgN/L e adotando uma perda por volatilização da amônia de 25% no momento da aplicação, o volume determinado foi de 1,06 litros por metro linear e arredondado, por conveniência, para 1,0 litro/metro linear em T3. A adoção do nitrogênio no cálculo do volume foi motivada pela recomendação de Jönsson *et al.* (2004). Estes autores afirmam que a taxa de aplicação deve ser baseada na demanda de nitrogênio da cultura, e caso não existam informações disponíveis para os devidos cálculos, pode-se utilizar a taxa de 3 a 7g/L.

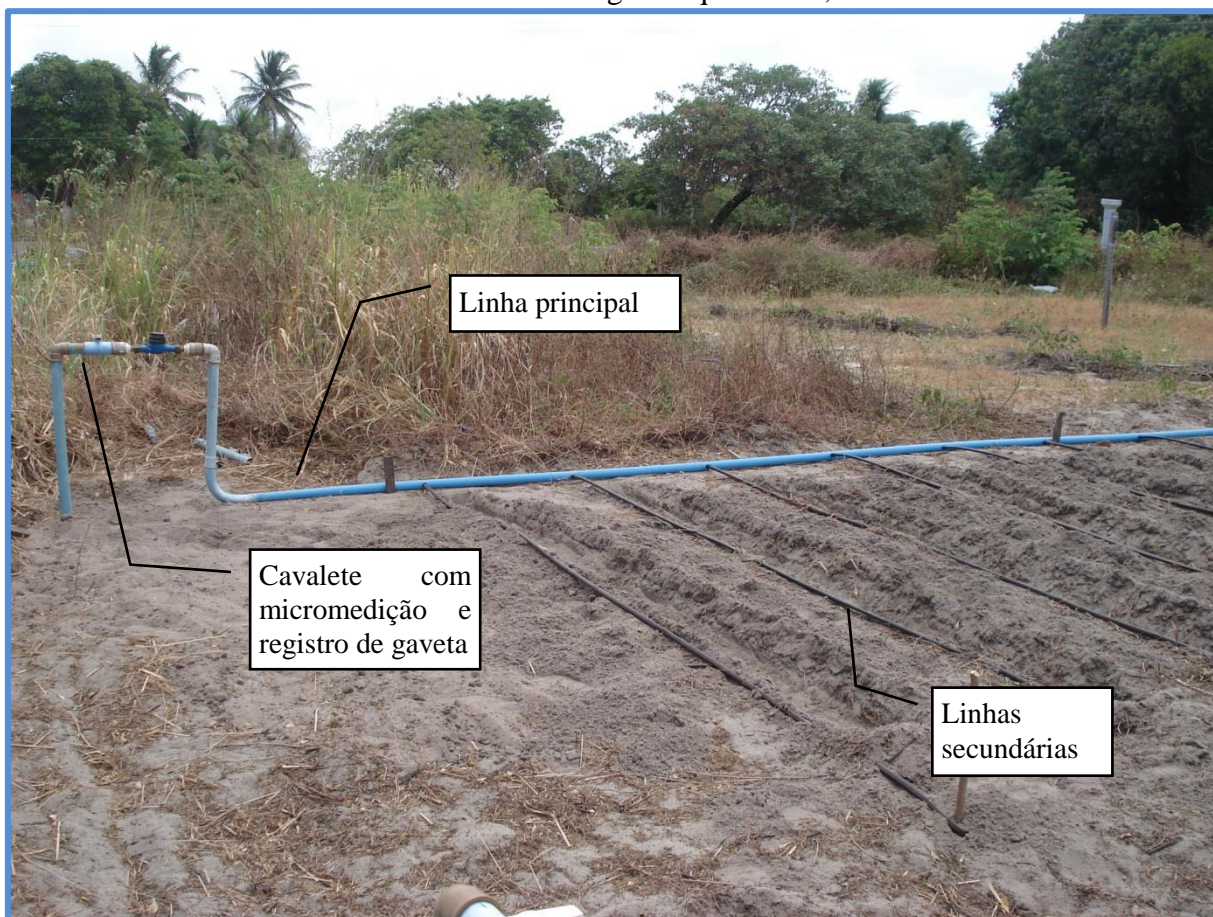
A aplicação foi realizada despejando o líquido, uniformemente, sobre uma linha paralela à linha das plantas e distante de 3 a 8 cm do caule das mesmas. A urina foi lançada a uma altura de aproximadamente 3 a 5 cm, para minimizar a perda de amônia para o ar.

### **2.4. Manejo da irrigação**

A área cultivada com milho foi irrigada por gotejamento, sistema selecionado por ser um dos mais utilizados pelos agricultores rurais. Os gotejadores possuíam a vazão de 2,2 L.h<sup>-1</sup>. O tempo real de irrigação por turno de rega de um dia foi de aproximadamente 1 hora, definido a partir do estudo de evaporação, tendo como base de dados o tanque classe A instalado no local. As linhas laterais e secundárias foram constituídas de tubos de polietileno com diâmetro de 16mm e a linha principal de PVC de 50mm. No início da linha principal foi

instalado um cavalete com micromedição e registro de gaveta para controle do fluxo de água (figura 5.6)

Figura 5.6 – Manejo de irrigação: linhas principal, secundárias e cavalete para micromedição e controle do fluxo de água. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

## 2.5. Semeadura e tratos culturais

A semeadura foi realizada em 19 de novembro de 2009 e o experimento conduzido até fevereiro de 2010 (figura 5.7). Testou-se a cultivar milho híbrido produzido na fazenda de pesquisa da Universidade Federal do Ceará em Pentecoste. As linhas foram abertas com profundidade média de 15 cm, adicionados o adubo orgânico e o químico de acordo com a demanda nutricional do milho, cobertos com 5 a 10 cm de solo e, logo então, distribuídas 30 sementes em cada linha. Procedeu-se um desbaste depois de 15 dias da germinação, a qual ocorreu no dia 04 de dezembro. A germinação ocorreu no dia 23 de novembro de 2009.

Figura 5.7 – Experimento com reuso de urina no cultivo do milho. (A) – Aplicação de adubo orgânico. (B) – 13 dias após a semeadura. (C) – 25 dias após a semeadura. (D) – 90 dias após a semeadura. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Não houve necessidade de controle fitossanitário durante a condução do experimento. Para o controle de plantas daninhas foram efetuadas duas capinas manuais nos dias 01 de dezembro de 2009 e 11 de janeiro de 2010, mantendo-se a lavoura livre destas ervas durante os primeiros noventa dias após a emergência.

## **2.6. Colheita e beneficiamento**

A colheita foi realizada de forma manual após 90 dias da germinação. Os sabugos de milho foram colhidos e separados por tratamentos e blocos, e depois encaminhados ao laboratório de saneamento (LABOSAN) da UFC para pesagem e medição do comprimento e diâmetro. O comprimento foi medido por meio de trena, e o diâmetro, paquímetro digital.

## **2.7. Variáveis avaliadas**

Abaixo estão descritas as variáveis avaliadas neste estudo, considerando como critérios de escolha as características quantitativas comerciais para milho verde no mercado interno, uma vez que o objetivo maior desta pesquisa é sensibilizar para o uso da urina em pequenos plantios, os quais se destinam à comercialização do milho em quitandas, feiras e supermercados locais.

### **2.7.1. Altura da planta**

A determinação da altura média de planta foi realizada por ocasião do pleno florescimento pela medição do comprimento do colmo (da superfície do solo até a base da folha “bandeira”) com auxílio de régua graduada de madeira. Foram medidas todas as plantas da área útil.

### **2.7.2. Índice de espiga (IE)**

Para determinar o índice de espiga, foi contado o número de espigas por linha de bloco e dividido pelo número de plantas (estande).

### **2.7.3. Diâmetro de espiga sem palha (DE)**

O diâmetro médio de espiga foi obtido medindo-se o ponto correspondente ao centro da espiga com o auxílio de um paquímetro digital marca Panambra – Pantec (0-200mm) com precisão de 0,01mm. As medidas foram realizadas em todas as espigas colhidas.

### **2.7.4. Comprimento de espiga sem palha (CE)**

O comprimento das espigas sem palha foi determinado com o auxílio de régua milimétrica. Todas as espigas colhidas foram medidas e anotados os dados a fim de proceder ao cálculo do comprimento médio por tratamento por bloco.

### **2.7.5. Peso e Produtividade das espigas (P)**

A produtividade do milho foi obtida pela pesagem das espigas sem palha, por planta, em balança analítica, e os resultados extrapolados para  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

## **2.8. Análise estatística**

As variáveis de crescimento, os componentes de produção e os parâmetros de solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F a um nível de significância de 1 a 5% e análise de regressão em função do tratamento estudado. Quando verificado efeito significativo na análise da variância, as médias obtidas nos diferentes tratamentos foram comparadas pelo Teste Scott e Knott a um nível de significância de 5%. Por conveniência, foi adotado este teste, considerando ser mais adequado para controlar a taxa de erro tipo I por comparação e por poder detectar pequenas diferenças (de até dois erros padrão) entre médias de tratamentos. As análises estatísticas foram efetuadas empregando-se o software SISVAR, versão 5.3 (Build 77), desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Avaliações das variáveis de crescimento e produção

##### 3.1.1. Altura da planta

Do ponto de vista experimental, o presente estudo evidenciou resultados promissores acerca da utilização de urina humana na fertilização de *Zea mays* com as doses selecionadas e nas condições de clima e solo do Ceará. Os resultados das variáveis de crescimento e produção foram proporcionais com o volume de urina aplicado e foram compatíveis aos resultados obtidos a partir da fertilização química.

Avaliando a variável altura da planta, verificou-se um maior crescimento em T2 (fertilização química), o qual forneceu a média de 158,3 cm aos 90 DAS, valor este superior à T1 (adubação orgânica); T3 (dose de urina recomendada) e T4 (metade da dose de urina recomendada) e T5 (1,5 vezes a dose de urina recomendada) em: 18,0; 8,8; 11,4 e 4,5%, respectivamente. (Tabela 5.4)

Tabela 5.4 - Altura médias, em centímetros, das plantas para os diferentes tratamentos utilizados. T1: adubo orgânico; T2: fertilizante químico; T3: urina; T4: 0,5 da dose de urina; T5: 1,5 da dose de urina.

Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5
	Altura (cm)				
Média	129,78	158,32	144,12	140,36	151,2
Desvio-padrão	40,44	49,03	50,3	44,6	55,2
Mínimo	25,8	86	32,3	53,5	69,6
Máximo	204,3	313,9	279,5	234,4	275,8

Fonte: AUTOR, 2013

As alturas médias dos tratamentos foram equivalentes ou inferiores aos resultados obtidos por pesquisadores que trabalharam tanto com fertilização química, orgânica ou com água de reuso.

Tozetti *et al.* (2004) avaliando o crescimento de diferentes progênies de milho na presença e ausência de adubo, em solo classificado como Argissolo, na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça, encontraram valores médios de altura da planta entre 147,5 a 177,4 cm para os progênies sem adubo e entre 166 a 204, para aqueles com

adubação orgânica. Verifica-se que a menor média da altura da planta com adubação foi superior ao maior resultado obtido nesta pesquisa. Isto se deve, principalmente, ao fato de que o híbrido simples utilizado nesta pesquisa possui características de superprecocidade, apresentando altura média da planta, significativamente, menor quando comparado a outros híbridos e variedades.

Comparando diversos tratamentos com e sem esgoto doméstico oriundo de tratamento primário no cultivo do milho, variedade cruzeta, Costa (2012) verificou que houve efeito significativo dos tratamentos na altura da planta, considerando as etapas de desenvolvimento da cultura (20, 40 e 60 DAS). O tratamento com 100% de água residuária proporcionou o maior crescimento das plantas, apresentando uma média 223,6 cm. O autor acredita que isto se deveu em função do maior aporte de nutrientes encontrados em esgoto doméstico, em particular o nitrogênio.

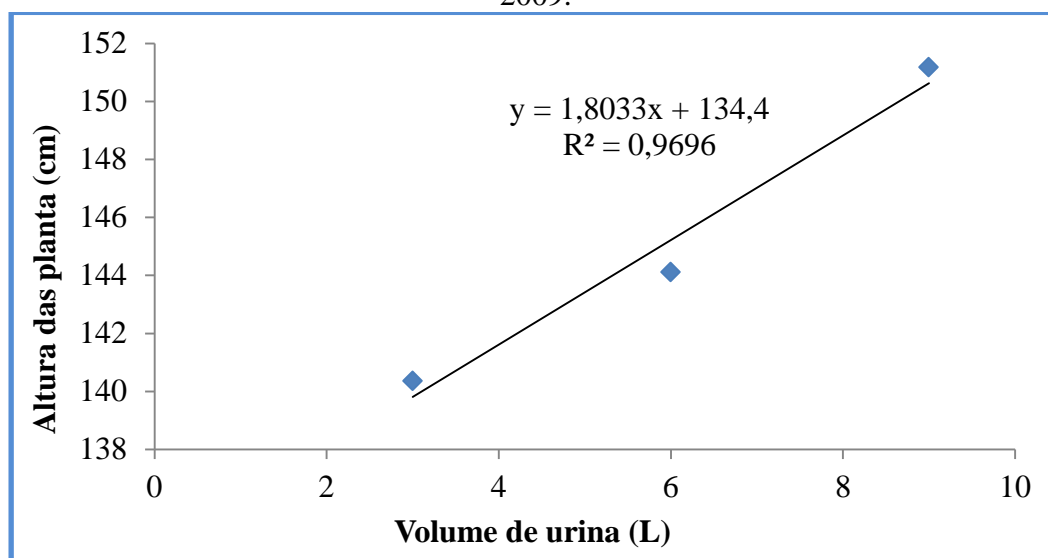
Além do fato do milho híbrido, utilizado nesta pesquisa, apresentar a propriedade de superprecocidade, a quebra do conjunto moto-bomba do sistema de irrigação acarretando um déficit hídrico durante quatro dias no sistema de plantio, provavelmente, contribuiu ainda mais para os baixos valores encontrados para a variável altura da planta. De acordo com Kappes (2010) e Cruz *et al.* (2006), a falta de água no solo afeta os aspectos ligados ao crescimento das plantas e diminui a taxa fotossintética, ocasionando danos em todos os estádios de desenvolvimento.

Resultados semelhantes aos da pesquisa de Costa (2012) foram obtidos por Junior *et al.* (2010). Trabalhando com a cultivar Variedade AL Bandeirante e efluente tratado de dois sistemas de tratamento, o primeiro composto de UASB (Reator anaeróbio de manto de lodo e fluxo ascendente) seguido de RAC (Reatores anaeróbios compartimentados) e o segundo, de filtro anaeróbico, estes autores verificaram que os tratamentos com o uso de efluentes e com água de irrigação apresentaram plantas com alturas médias, na ordem de 200 cm, superiores à altura da testemunha de sequeiro, de aproximadamente 160 cm, demonstrando a influência da irrigação para o controle do déficit hídrico do solo no desenvolvimento do milho.

Por outro lado, conforme Almeida *et al.* (2000), atualmente, a menor altura de planta tem sido um caractere desejável entre os produtores de milho por permitir cultivos em maiores densidades e maior eficiência na colheita, ao mesmo tempo em que reduz problemas relacionados com o acamamento e o quebramento de plantas antes do ponto de colheita (KAPPES, 2010), comumente evidenciado com plantas de porte elevado. A arquitetura de planta compacta facilita a penetração de radiação solar no interior da comunidade, até mesmo em lavouras instaladas com estandes adensados (MARCHÃO *et al.*, 2005).

A altura da planta se comportou de forma linear quando se incorporou 50% a mais de urina com um coeficiente ( $R^2$ ) igual a 0,969, obedecendo à equação mencionada na figura 5.8.

Figura 5.8 – Altura da planta (90 DAS) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaboração própria (2013)

Verifica-se, portanto, que quanto maior a dose, maior é a altura da planta. Vale ressaltar, que a dosagem máxima utilizada nesta pesquisa foi de 1,5 vezes a dose recomendada de urina, ou seja,  $90 \text{ kgN.ha}^{-1}$ . Desta forma, fazem-se necessárias novas pesquisas para analisar o crescimento e o desenvolvimento da planta aplicando doses mais altas. Deve-se, ainda, levar em consideração o fator da volatilização da amônia durante o manuseio e o transporte da urina.

Considerando as taxas de aplicação e as respostas da planta, os resultados obtidos estão de acordo com Arnon (1975), o qual afirma que plantas mal nutridas com nitrogênio apresentam menor capacidade de assimilar  $\text{CO}_2$  e de sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, o que tem como consequência a redução na altura da planta. Sangoi; Almeida (1994) e Soares (2003) verificaram aumentos significativos, superiores a 20%, na altura das plantas de milho mediante a aplicação de  $100$  e  $120 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N, em relação ao tratamento em que o N não foi aplicado.



### 3.1.1. Índice de espiga (IE)

O maior índice de espiga encontrado foi de 1,25 em T2, indicando que o fertilizante químico proporcionou dentre os tratamentos pesquisados a maior relação entre o número de espigas por planta. No entanto, a diferença entre os índices foram muito baixos. A maior discrepância foi de 0,28 espigas por planta entre T2 e T5. Em todos os tratamentos, os índices situaram-se próximos a 1 (um), valor este comumente encontrado na literatura (CARDOSO *et al.*, 2011; PEREIRA FILHO, 2002, PEREIRA *et al.*, 2005; CAMPOS *et al.*, 2010). Os índices médios de espiga foram: 0,99; 1,25; 0,97; 1,02 e 0,96, respectivamente para T1; T2; T3; T4 e T5.

### 3.1.1. Diâmetro de espiga sem palha (DE)

No tocante à variável de produção diâmetro mediano da espiga sem palha, o tratamento controle (T1) resultou no menor valor, igual a 34,60 mm. Os diâmetros medianos das espigas foram iguais a 40,69; 40,96; 42,93; 44,23 mm, respectivamente para T2; T3; T4 e T5. A aplicação de 1,5 vezes o volume de urina resultou no maior diâmetro, valor este superior em 21,8% à T1 (tratamento controle) e 8% à T2 (fertilização química). Vale destacar que, de acordo com Mata *et al.* (2010), o diâmetro das espigas reflete a capacidade produtiva da planta, e o maior diâmetro favorece a formação de maior quantidade de grãos.

Freire *et al.* (2010) considera como comerciais as espigas grandes, cilíndricas e bem empalhadas com diâmetro superior a 5cm. Considerando que não foram feitas as medições dos diâmetros da espiga empalhada, os resultados foram comparados com Albuquerque (2008) e verificou-se que todos os tratamentos resultaram em valores que podem ser enquadrados como espigas comerciais, pois este afirma que espigas verdes despalhadas maiores que 3 cm de diâmetro são padrões para serem enquadradas como comerciais.

A média de 44,23 mm em T5 ficou bem próxima às pesquisas de vários autores. A partir de diferentes doses de esterco bovino, Mata *et al.* (2010) encontraram valores entre 44,75 e 47,96 mm, dependendo da dose de esterco bovino aplicado na cultivar híbrido simples DAS655.

Carvalho *et al.* (2011), estudando a eficiência da adubação nitrogenada em 32 híbridos experimentais de milho, verificou que as plantas que receberam 144 kg.ha<sup>-1</sup> de N apresentaram aumento significativo no diâmetro da espiga, com a média de 47mm. Quando

cultivados no menor índice de nitrogênio em cobertura, os híbridos 1EHT apresentaram o menor valor de 42 mm, e os híbridos M14, o maior valor de 50 mm.

Por outro lado, em uma pesquisa no Paraná aplicando três diferentes fontes de adubação na cultura do milho safrinha: orgânica, mineral e organomineral, Castoldi *et al.* (2011) encontraram valores médios de diâmetro abaixo de 40 mm. Com exceção de T1 com média de 34,60 mm, todos os tratamentos desta pesquisa com urina alcançaram diâmetros médios acima de 40 mm. Esta diferença deve-se, principalmente, às condições climatológicas do ambiente e de população de plantas, pois enquanto Castoldi *et al.* (2011) trabalhou com 55.000 plantas.ha<sup>-1</sup>, o estudo aqui no Ceará foi desenvolvido com uma população de 62.500 plantas.ha<sup>-1</sup>. Segundo Sangoi (2000), o milho é a gramínea mais sensível à variação na densidade de plantas. Para Zanin (2007), o aumento na população de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar, favorecendo o crescimento das plantas. Aumentos na tolerância de híbridos de milho ao adensamento têm sido reportados na literatura em diferentes regiões produtoras.

### 3.1.1. Comprimento da espiga

O comprimento da espiga também sofreu alterações a partir das diferentes doses de urina. O maior comprimento foi verificado em T5, com média igual a 16,46 cm, e o menor em T1, com média igual a 13,42 cm, constituindo uma diferença de 18,5%. Os valores máximos variaram entre 22 cm, para T1 e 24 cm, para T3 (tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Comprimento médio, em centímetros, das espigas de milho para os diferentes tratamentos utilizados. T1: adubo orgânico; T2: fertilizante químico; T3: urina; T4: 0,5 da dose de urina; T5: 1,5 da dose de urina.

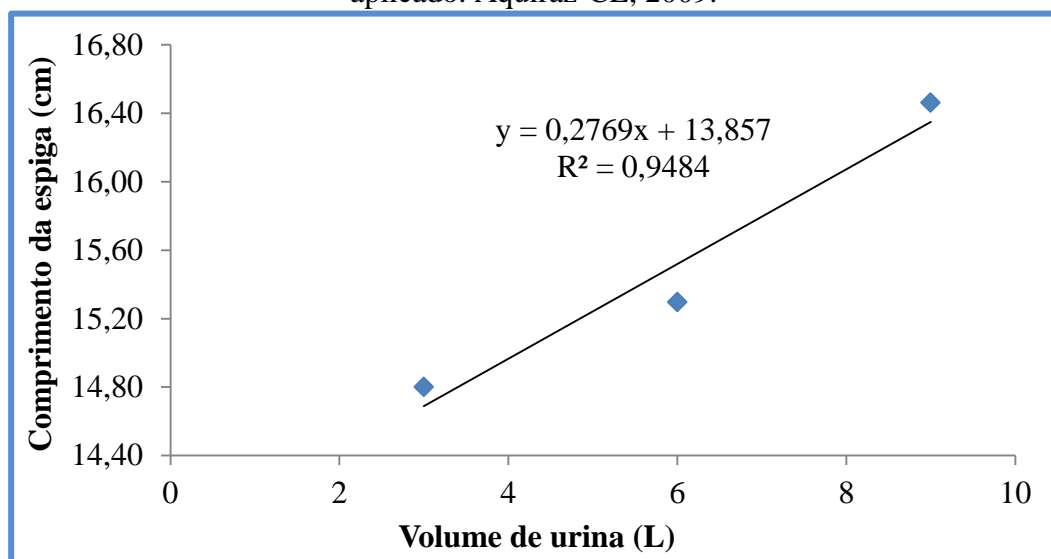
Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5
	Comprimento (cm)				
Média	13,05	14,95	15,29	14,8	16,46
Desvio-padrão	3,17	3,17	3,49	3,71	3,8
Mínimo	9	10,1	10	7,9	7,5
Máximo	22	23,2	24	23	23

Fonte: AUTOR, 2013

Analisando a figura 5.9, quanto maior o volume de urina, melhor a resposta da planta em relação ao comprimento da espiga. De forma análoga à altura da planta, o

comprimento da espiga se comportou de forma linear quando se incorporou 50% a mais de urina com um coeficiente ( $R^2$ ) igual a 0,948, obedecendo à equação mencionada na figura 5.9. A diferença relativa entre T5 (1,5 vezes a dose de urina) e T4 (metade da dose de urina) foi de 10,1%, conforme figura 5.10.

Figura 5.9 – Comprimento da espiga de milho (90 DAS) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: AUTOR, 2013

Figura 5.10 – Espigas de milho fertilizadas com 0,5 da dose de urina (T4) e com 1,5 da dose de urina recomendada (T5). Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: AUTOR, 2013.

Respostas equivalentes foram obtidas por Carvalho *et al.* (2011). O valor médio de comprimento da espiga foi maior com a utilização do maior nível de nitrogênio (164 mm) quando comparado com o tratamento sem a utilização da adubação nitrogenada (158 mm), uma diferença de 3,6%.

Apenas T5 e T3 apresentaram valores acima do comprimento médio comercial informado por Albuquerque (2008) que é de 15 cm para o milho verde. Combinando as duas principais características mais valorizadas comercialmente, verifica-se que apenas os tratamentos com urina, T3 e T5, foram capazes de atender ambas, com um diâmetro médio da espiga acima de 3,0 cm e um comprimento acima de 15 cm.

De forma geral, os comprimentos médios estão equivalentes com os valores observados em diversos estudos no país, corroborando o potencial do uso da urina no favorecimento de nutrientes essenciais ao crescimento da espiga do milho.

Turco (2011) constatou que o híbrido de milho SG-6418 cultivado em baixo nível de adubação (250 kg.ha<sup>-1</sup> de adubo orgânico + 150 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia), espaçamento de 0,8m e densidade de plantas de 70.000 plantas.ha<sup>-1</sup> atingiu um comprimento médio da espiga igual a 12,1 cm, enquanto que para as mesmas condições de irrigação e plantio com o acréscimo da adubação nitrogenada (alto: 500 kg.ha<sup>-1</sup> de adubo + 300 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia) o comprimento foi igual a 14,1 cm, ou seja, um incremento de 14%. Observa-se que a taxa de nitrogênio aplicado por Turco (2011) foi 37,5% superior ao adotado nesta pesquisa e, ainda assim, T5 proporcionou um comprimento superior em 14%. Contudo, deve-se enfatizar que, diversos fatores interferem na produtividade do milho e que devem ser levados em consideração, como a época de semeadura, clima, população de planta e o genótipo.

Valores similares também foram reportados por Mata *et al.* (2010) variando a taxa de esterco bovino de 0 a 60 t.ha<sup>-1</sup>. Os comprimentos médios variaram de 14,03 a 15,96 cm, e o aumento da dose de esterco não proporcionou qualquer efeito significativo sobre esta característica.

Por outro lado, ao avaliar o efeito da utilização do lodo de esgoto (2,5; 5,0; 10,0 e 15,0 t.ha<sup>-1</sup>), na cultura do milho em solo Latossolo Vermelho Distroférrico, Bremm *et al.* (2012), observaram que a adição deste subproduto ao solo promoveu uma resposta significativa para o desenvolvimento das plantas, com valores de comprimento da espiga bem acima dos encontrados neste estudo, com médias de 17,7 a 19,0 cm, dependendo da dose aplicada. Esta diferença de mais de 13,4%, entre os resultados de Bremm *et al.* (2012) e desta pesquisa, pode estar relacionada à maior disponibilidade de fósforo proporcionada pelo lodo de esgoto, ao aumento de cargas negativas devido a alta concentração de MO no lodo, além

de enriquecer o meio, principalmente, com os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , fato que contribui para o aumento da CTC e saturação por bases, bem como dos fatores já citados como condições climáticas e genótipo da cultivar (MELO *et al.*, 1994; BARBOSA *et al.*, 2007; GALDOS, *et al.*, 2004).

No entanto, o uso de lodo de esgoto difere-se da urina, principalmente, quanto aos riscos ambientais e à saúde pública já relatados por diversos autores (SOUZA *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2003; GOMES *et al.*, 2006), como a contaminação por micro-organismos patogênicos, acúmulo de metais pesados no solo e a interação destes contaminantes nos ecossistemas e assim subsequente entrada na cadeia alimentar.

### 3.1.1. *Peso das espigas sem palha*

Os pesos médios das espigas sem palha, em ordem crescente, foram iguais a 81,1g, para T1 (irrigação com água e adubação de esterco curtido); 118,3g, para T4 (irrigação com água bruta, adubação de esterco curtido e 0,5 vezes a dose de urina recomendada); 127g, para T2 (irrigação com água bruta, adubação de esterco curtido e adubação química); 141,3g, para T3 (irrigação com água bruta, adubação de esterco curtido e urina na dose recomendada) e 160,1g, para T5 (irrigação com água bruta, adubação de esterco curtido e 1,5 vezes a dose de urina recomendada).

Conforme a tabela 5.6, embora o milho de maior peso (364,5g) tenha sido originado do tratamento T2 (NPKS), a aplicação de urina, ou seja, os tratamentos T3 e T5 desenvolveram maiores produtividades. O menor milho, em termos de peso, originou-se também desse mesmo tratamento (T2), e essa tamanha variação resultou no maior desvio-padrão no valor de 81,1. Acredita-se que uma praga desenvolvida em seis plantas desse tratamento seja a possível explicação para tal fato, reduzindo, assim, sua produtividade.

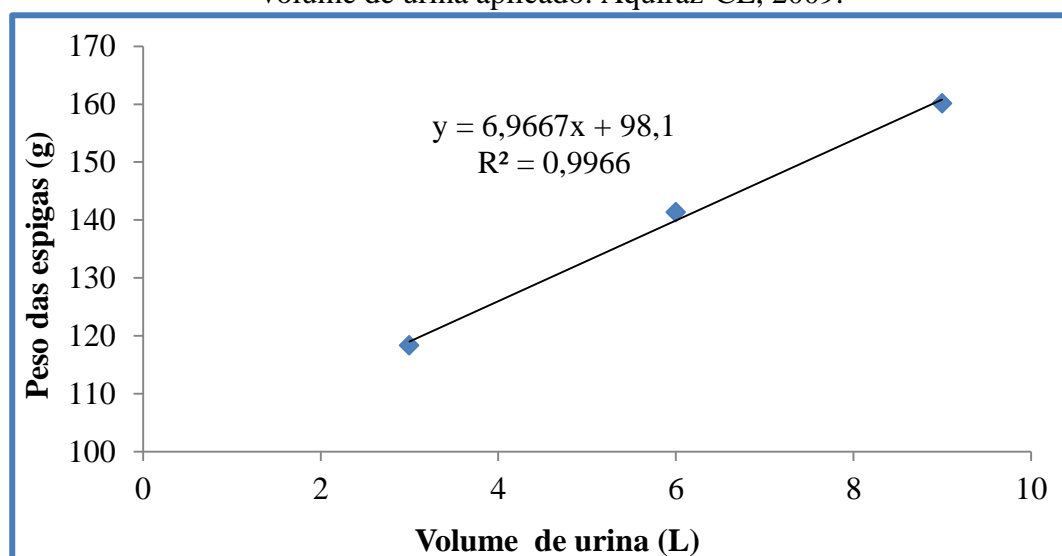
Tabela 5.6 - Peso, em gramas, das espigas de milho despalhadas para os diferentes tratamentos utilizados (T1 - adubo orgânico; T2 - fertilizante químico; T3 - urina; T4 - 0,5 da dose de urina; T5 - 1,5 da dose de urina). Aquiraz-CE, 2009.

Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5
	Peso da espiga de milho (gramas)				
Média	81,1	127,0	141,3	118,3	160,1
Desvio-padrão	43,9	81,1	70,8	58,3	72,0
Mínimo	19,5	17,5	40,5	35,0	34,5
Máximo	185,0	364,5	340,0	286,0	327,5

Fonte: Elaboração própria (2013).

A partir da figura 5.11, observa-se que quanto maior o volume de urina, melhor é a resposta da planta em relação ao peso da espiga de milho, considerando, é claro, que a maior taxa de urina aplicada correspondeu a 90 kg.ha<sup>-1</sup>. Semelhantemente às variáveis altura da planta e comprimento da espiga, o peso das espigas se comportou de forma linear quando se incorporou 50% a mais de urina, com um coeficiente (R<sup>2</sup>) igual a 0,9966, obedecendo à equação mencionada na figura 5.11.

Figura 5.11 – Peso das espigas de milho despalhadas (90 DAS) em função do volume de urina aplicado. Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: AUTOR, 2013

Dentre os tratamentos utilizados, a fertilização com 1,5 vezes a dose de urina recomendada proporcionou a melhor produtividade em peso de espigas de milho, com diferenças relativas aos demais tratamentos em: 49,3; 20,7; 11,7 e 26,1%, respectivamente,

para T1; T2; T3e T4. Como era de se esperar T1, ou seja, o tratamento controle alcançou o menor peso médio entre os demais.

Todas as pesquisas, até então realizadas, corroboram quanto ao ganho de crescimento e produção do uso da urina na agricultura, quando se compara com tratamentos controle, ou seja, sem adição de fertilizantes químicos. Morgan (2005) observou um ganho de mais de 43% no peso do milho fertilizado com urina, bastante próximo do obtido nesta pesquisa. Pradham *et al.* (2009) alcançaram resultados significativos com o uso da urina acrescida de cinzas, proporcionando aumento de até 3% na produtividade do tomate. Utilizando o repolho, como cultura teste, Pradham *et al.*, (2007) verificaram que a urina possibilita um acréscimo de 256 kg deste vegetal por parcela de 90m<sup>2</sup>, em comparação com a não fertilização. Guzha *et al.* (2005) constaram que a urina seria capaz de dobrar a produtividade do milho quando não se aplica qualquer fertilizante. De forma geral, os dados obtidos a partir do experimento no Ceará corroboram com os ganhos de produtividade alcançados com o uso da urina por diversos autores com pesquisas em vários países.

Entretanto, não se esperava que T5 fosse propiciar um aumento maior que 20%, em comparação com o fertilizante químico (T2). Da mesma forma, alguns estudos, também, já verificaram diferenças de tamanha magnitude. Germer *et al.* (2011), realizando pesquisas em Gana durante os anos de 2006, 2007 e 2009, reportaram acréscimos na produtividade de sorgo, fertilizado com urina, em 3,5 vezes, quando comparado com a fertilização química. Por conseguintes, estes autores, vincularam uma possível menor perda de amônia por volatilização nos tratamentos com urina do que nos tratamentos que receberam fertilizante químico para justificar tal diferença. Outra pesquisa que também apresentou médias de produtividade com aplicação de urina acima do fertilizante químico foi desenvolvida por Morgan (2005) em Epworth, Zimbábue, África. Morgan (2005), cultivando milho em experimento de campo, observou que o peso médio das espigas fertilizadas com urina foi 1,45 vezes superior às fertilizadas com adubo químico. Contudo, este autor acredita que as chuvas irregulares, com uma forte tempestade em um único evento seguido da temporada sem chuvas, favoreceram a perda do nitrogênio por lixiviação no solo arenoso. Outra possível justificativa para resultados agrônômicos mais favoráveis com o uso da urina descrita por Akpan-Idiok *et al.* (2012) seria a presença de diversos elementos essenciais (macro e micro) em comparação com os fertilizantes químicos.

Com resultados bastante satisfatórios, Heinonen-Tanski *et al.* 2007 verificaram que a urina humana, proveniente de sanitários separadores de excretas, proporcionou

produtividade semelhante ou ligeiramente superior ao fertilizante químico no cultivo de pepinos em clima nórdico.

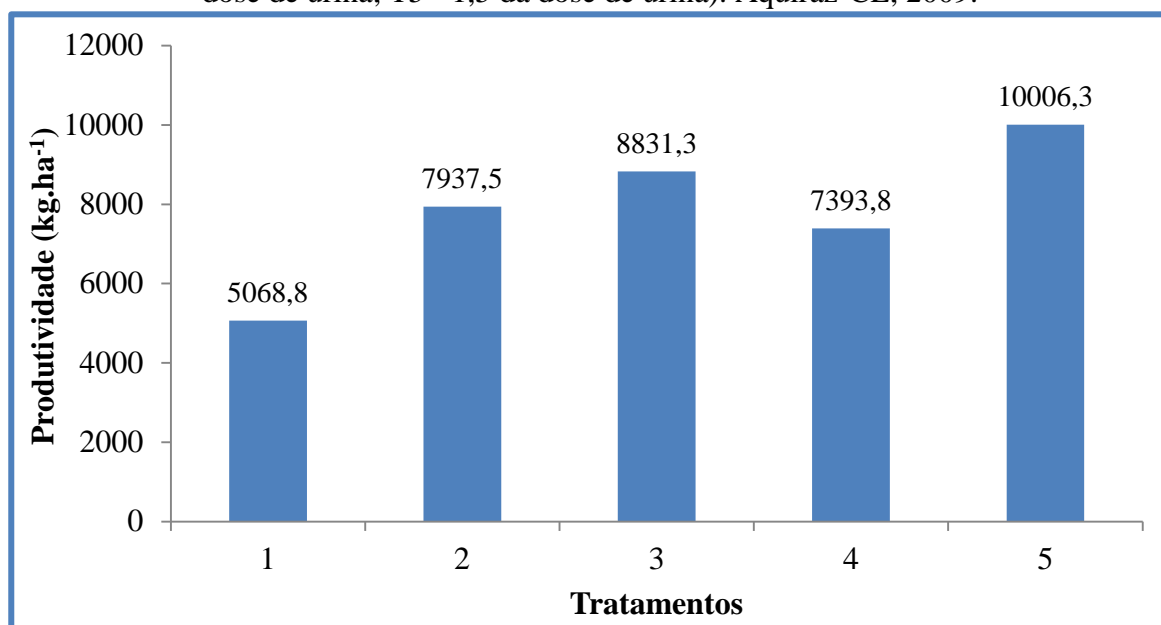
Por outro lado, conforme observado por Sene *et al.* (2012), a aplicação da urina realizada em uma única parcela antes da semeadura prejudicou o crescimento da cultura do espinafre, apresentando valores de crescimento e produção semelhantes ao tratamento controle (sem fertilização). Para os tratamentos com aplicação fracionada e iniciada duas semanas após a germinação, os resultados foram, significativamente, satisfatórios do ponto de vista agrônômico, porém estes autores recomendam o uso combinado da urina com cinzas ou composto para a obtenção de melhores desempenhos.

Em comparação, Pletsch (2012) encontrou valores abaixo de T3 e T5, em 7 e 18%, fertilizando o híbrido simples de milho DOW 2B587 com efluente de esgoto doméstico tratado por meio de reatores anaeróbios de fluxo ascendentes. Considerando que segundo Bastos *et al.* (2008); Fidelis *et al.* (2007), a cultura do milho apresenta demanda elevada por fertilizantes nitrogenados, fazendo com que a aplicação desse nutriente seja extremamente necessária para obtenção de altas produtividades, sugere-se que a baixa concentração deste macronutriente no efluente tratado e à baixa carga aplicada, quando comparada à urina, tenham sido as principais razões para tal diferença.

A figura 5.12 mostra os valores do peso da espiga de milho, para cada tratamento, extrapolados em termos de produtividade ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Observa-se que T5 foi 1,9; 1,3; 1,1 e 1,4 vezes superior à T1, T2, T3 e T4, respectivamente.



Figura 5.12 – Valores de produtividade, em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , das espigas de milho despalhadas para os diferentes tratamentos (T1 - adubo orgânico; T2 - fertilizante químico; T3 - urina; T4 - 0,5 da dose de urina; T5 - 1,5 da dose de urina). Aquiraz-CE, 2009.



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Confrontando os dados de outras pesquisas, a urina foi capaz de gerar produtividades equivalentes aos obtidos a partir de outras fontes de adubação. Freire *et al.* (2010), cultivando milho híbrido AG 4051, com a dose de  $157 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de nitrogênio, alcançou a produtividade máxima de  $13,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , em 2007; e de  $14,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , com a dose  $177 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  no ano de 2008. Contudo, a produtividade obtida por este autor diz respeito às espigas com palha, enquanto nesta pesquisa esta variável foi calculada a partir das espigas sem palha.

Costa (2012) encontrou valores bem semelhantes, utilizando também efluente de esgoto tratado no cultivo do milho variedade cruzeta (*Zea mays* L.). Para o tratamento que recebeu 100% da água residuária, o peso médio da espiga sem palha foi igual a 161 g. Porém, Pereira *et al.* (1998) verificaram que o rendimento médio de peso de espigas comerciais dos híbridos ( $8.187 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foi cerca de 28% superior ao rendimento médio das variedades ( $5.894 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Desta forma, possivelmente, os resultados encontrados por Costa (2012) poderiam ser ainda maiores, caso híbridos fossem utilizados.

### 3.2. Análise Estatística

O estudo estatístico apontou que a partir dos quadrados médios obtidos pelo teste F, não houve efeito significativo na altura da planta ( $p=0,079>0,05$ ), nem no índice de espiga ( $p=0,1280>0,05$ ). Os valores da análise de variância para a variável de crescimento, altura da

planta, e para a variável de produção, índice de espigas, estão apresentados nas tabelas 5.7 e 5.8, respectivamente.

Tabela 5.7 - Resumo das análises de variâncias para variável altura da planta. Aquiraz - CE, 2009.

Fontes de variação	GL	Altura da planta	
		QM	P
Tratamento	4	4945,74	0,079
Blocos	1	1220,09	0,4694
Resíduo	176	2321,35	-

Fonte: Elaboração própria (2013).

Tabela 5.8 - Resumo das análises de variâncias para variável índice de espigas. Aquiraz - CE, 2009.

Fontes de variação	GL	Índice de Espigas	
		QM	P
Tratamento	4	0,0286	0,1280
Blocos	1	0,0616	0,0504
Resíduo	6	0,0103	-

Fonte: Elaboração própria (2013).

Portanto, mesmo com resultados discrepantes entre os T1 e os demais tratamentos (tabela 5.9), estes não representaram efeitos expressivos a um nível de 5%, podendo-se inferir que a altura da planta é a mesma quando se utiliza adubação orgânica, adubação química e adubação com urina variando as taxas para menos e mais 50% da dose recomendada.

O mesmo foi verificado com a variável índice de espigas. Apesar de T1 ter conferido um índice acima de 1,2, diferença maior que 22% para T5 (0,97), o Teste Scott e Knott (tabela 5.9) indicou que não existe qualquer alteração significativa para este componente em fertilizar o híbrido, seja com urina, esterco curtido ou fertilizante químico (NPKS + micronutriente).

Com resultados semelhantes Ferreira *et al.* (2001), aplicando incrementos significativos nas doses de nitrogênio (0, 70, 140 e 210 kg.ha<sup>-1</sup>) e outros micronutrientes como zinco e molibdênio, também não verificaram alteração expressiva para o componente altura das plantas ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 5.9 - Médias da altura da planta e índices de espigas em função dos tratamentos.  
Aquiraz - CE, 2009

Tratamentos	Altura da planta (cm)	Índice de espigas
T1	129,78 <sup>a</sup>	0,99 <sup>a</sup>
T2	158,32 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>
T3	144,12 <sup>a</sup>	0,97 <sup>a</sup>
T4	140,36 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>
T5	151,18 <sup>a</sup>	0,97 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: AUTOR, 2013.

Com relação ao índice de espigas, o tratamento controle (T1) conferiu o terceiro maior resultado, apesar de ser constituído apenas de adubação orgânica, ou seja, esterco curtido. Aparentemente, este resultado configura-se como contraditório, porém resultados semelhantes foram obtidos por Castoldi *et al.* (2011), quando comparou três diferentes fontes de adubação na cultura do milho safrinha: orgânica, mineral e organomineral. Apesar de estatisticamente, não existir efeitos significativos entre os tratamentos, estes autores encontraram a maior relação de espigas/planta (0,90) para o tratamento que recebeu apenas a adubação orgânica.

Contudo, acredita-se que caso seja estudado um tratamento com zero de adubação, e dependendo da fertilidade natural do solo, pode ocorrer um efeito mais expressivo, tanto para a altura da planta quanto para o índice de espigas, já reportado, anteriormente, por Costa (2012) e Akah *et al.* (2012). Estes últimos autores não constataram diferenças significativas ao comparar a urina com fertilizante químico, porém estes diferiram do tratamento controle (sem fertilizante) no cultivo do repolho e pimentão.

Pelo resumo das análises das variâncias para os dados de diâmetro, comprimento e peso da espiga despilhada, constatou-se efeito significativo pelo teste F a um nível de significância de 5%, revelando diferenças entre os tratamentos para estes componentes de produção. (tabela 5.10).

Tabela 5.10 - Resumo das análises de variâncias para as variáveis diâmetro, comprimento e peso da espiga despalhada. Aquiraz - CE, 2009

Fontes de variação	GL	QM			P		
		Diâmetro da espiga	Comprimento da espiga	Peso da espiga despalhada	Diâmetro da espiga	Comprimento da espiga	Peso da espiga despalhada
Tratamento	4	410,55	46,49	35601,32	0,000	0,002	0,000
Blocos	1	76,26	0,90	4235,45	0,238	0,772	0,257
Resíduo	176	54,44	10,73	3270,28	-	-	-

Fonte: Elaboração própria (2013)

A fertilização química, e a aplicação da urina proporcionaram incrementos significativos tanto no diâmetro, quanto no comprimento da espiga, quando comparados com a adubação orgânica (esterco curtido). As médias destes componentes produzidos por parcela de cada bloco estão mostradas na tabela 5.11. Pelo teste estatístico empregado, não existe diferença em aumentar as doses (T3, T4 e T5), nem de utilizar o fertilizante químico (T2).

Tabela 5.11 - Médias do diâmetro, comprimento e peso das espigas despalhadas em função dos tratamentos. Aquiraz - CE, 2009

Tratamentos	Diâmetro da espiga (mm)	Comprimento da espiga (cm)	Peso da espiga despalhada (g)
T1	34,59 <sup>a</sup>	13,42 <sup>a</sup>	81,13 <sup>a</sup>
T2	40,69 <sup>b</sup>	14,95 <sup>b</sup>	127,0 <sup>b</sup>
T3	40,96 <sup>b</sup>	15,29 <sup>b</sup>	141,26 <sup>c</sup>
T4	42,93 <sup>b</sup>	14,80 <sup>b</sup>	118,29 <sup>b</sup>
T5	44,23 <sup>b</sup>	16,46 <sup>b</sup>	160,10 <sup>c</sup>

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Fonte: AUTOR, 2013.

Apenas T1, com médias do diâmetro e do comprimento da espiga iguais a 34,59 e 13,42cm, diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (tabela 5.11). Este valor reduzido deve-se ao menor aporte de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio fornecidos às plantas.

De forma análoga, Freire *et al.* (2010) não observaram efeito da adubação nitrogenada, no tocante ao comprimento da espiga sem palha. Diferentemente, para o diâmetro da espiga, foi verificado que as doses de N influenciaram significativamente essa variável. Destaca-se que o comprimento e o diâmetro de espiga são características que determinam o potencial de produtividade. O diâmetro de espiga está estreitamente relacionado

com enchimento de grãos e número de fileiras de grãos por espiga, que também é influenciado pelo genótipo (OHLAND *et al.*, 2005)

Quanto ao peso da espiga, T3 e T5, e T4 e T2 não diferiram, estatisticamente, entre si. Todavia, e com resultados já esperados, T1 alcançou a menor produtividade, diferindo dos demais tratamentos (tabela 5.11). Logo, o peso das espigas variou conforme o tipo de adubação (química ou urina) e quanto ao volume de urina aplicado.

Em pesquisa realizada no Brasil, Rios *et al.* (2007), trabalhando com alface hidropônica irrigada com urina, atentaram que os tratamentos que receberam a solução nutritiva convencional (FURLANI) (T1), a solução com 5% de urina e 95% de água (T2) e a solução com 10% de urina e 90% de água (T3) não diferiram entre si, quanto ao número de folhas, massa de matéria úmida e massa de matéria seca. Contudo, T5 constituído da maior dose de urina (20%), apresentou um provável efeito fitotóxico à alface.

Nesta pesquisa, o milho respondeu satisfatoriamente ao aumento da taxa da urina em 50%, entretanto, deve-se enfatizar, que diferentemente de Rios *et al.* (2007), que estudaram a o uso da urina na hidroponia, sua aplicação em solo, por meio de experimentos de campo, propiciam às plantas respostas peculiares e imprevisíveis quando das reações que ocorrem no sistema solo-planta. Outro aspecto importante a ser lembrado, em experimentos de campo, é a volatilização da amônia que ocorre durante as etapas de transporte, transferência e aplicação no solo.

Em uma pesquisa utilizando fertilizante químico, urina e a combinação de urina e composto fecal, Guzha *et al.* (2005) também verificaram que a produtividade foi altamente afetada por essas fontes de adubação em comparação ao tratamento controle (sem fertilizantes). Estes autores concluíram, ainda, que os melhores desempenhos são alcançados quando os agricultores utilizam a combinação de composto fecal e urina, como condicionador do solo e fertilizante natural.

Comportamento semelhante foi observado por Freitas *et al.* (2004), afirmando que a aplicação de águas residuárias de suinocultura aumentou os valores de peso da espiga em mais de 50% comparada à testemunha (zero de fertilizante), tamanha discrepância devido, possivelmente, à alta concentração, principalmente de nitrogênio e fósforo neste efluente.

Não obstante, a produtividade de frutos, quando Pradham *et al.* (2009) compararam a aplicação de fertilizante químico e urina pura, não surtiu efeito expressivo, indicando um acréscimo em 3 vezes em relação ao tratamento controle (sem fertilizante).

Provavelmente, a baixa produtividade proporcionada pela fertilização química (T2), comparada à T4 (0,5 vezes a dose da urina), foi ocasionada por uma praga desenvolvida

em seis plantas deste tratamento, reduzindo, assim, de forma significativa, sua produtividade. Após a verificação da praga, identificada como a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* Smith), foi aplicado de imediato o defensivo agrícola Lannate® BR, com ingrediente ativo ((S-metil-N-(metilcarbamoil) - oxi)-tioacetimidato) (METHOMYL), porém as plantas não conseguiram se recuperar até o final do plantio.

Vários fatores podem influenciar o rendimento da cultura do milho como o potencial produtivo do híbrido, as condições climáticas, a população de plantas, e condições nutricionais e fitossanitárias em um agroecossistema (DOURADO NETO *et al.*, 2003). Sabe-se que a exigência do nitrogênio pela cultura do milho aumenta quando se espera obter maiores índices de produtividade.

Devido aos altos preços dos fertilizantes nitrogenados e ao baixo poder de compra dos agricultores nos países em desenvolvimento, grande parte das lavouras de milho é conduzida sobre condições de deficiência de nitrogênio (BÄNZIGER *et al.*, 1997).

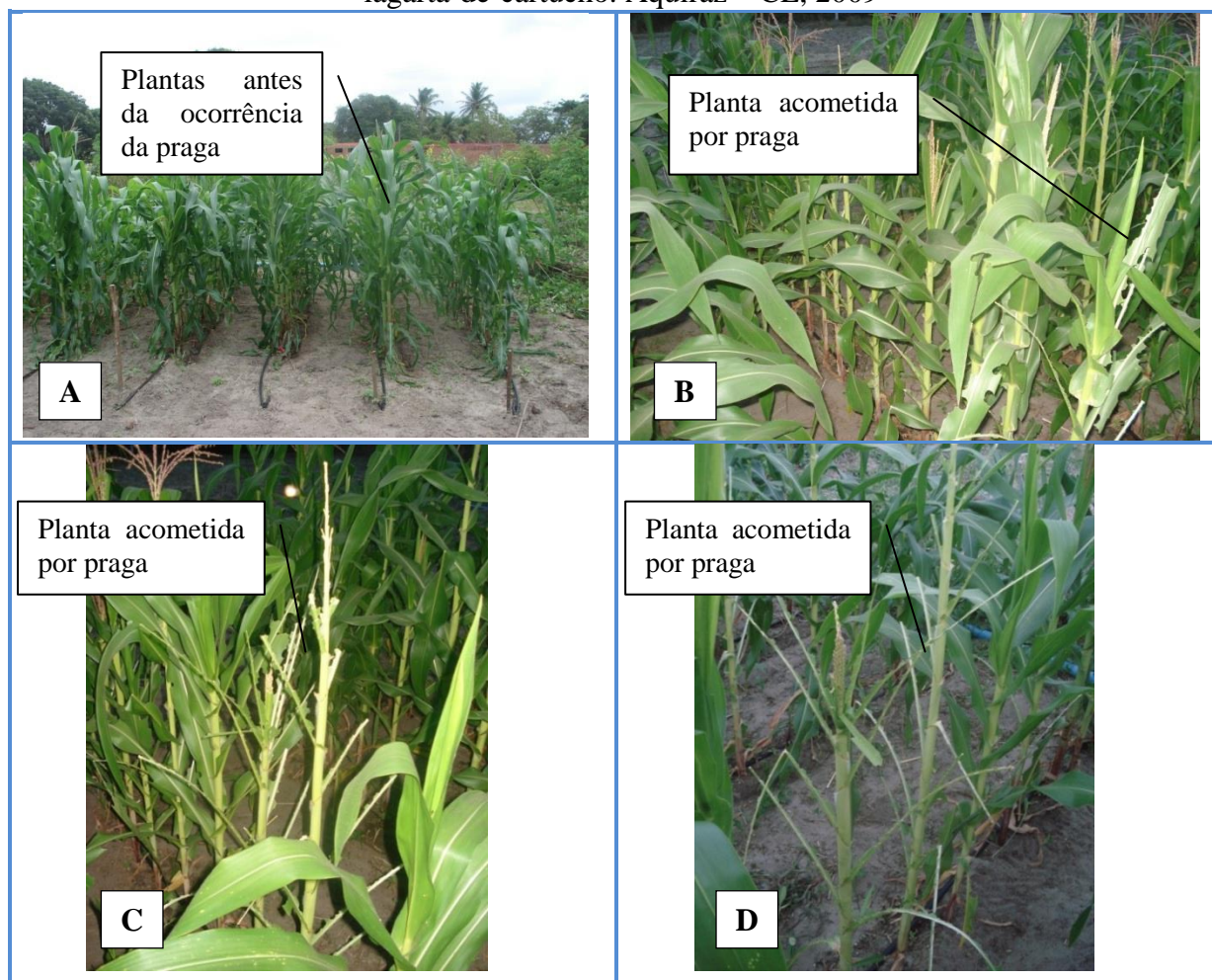
Diante destes cenários e em conformidade com Karak; Bhattacharyya (2011), é possível fazer uso da urina como uma fonte alternativa de nutrientes, beneficiando diretamente os pequenos e médios agricultores, além de impactar positivamente no meio ambiente e na economia local. O alcance do sucesso desta façanha dependerá da criação de novas áreas da pesquisa científica e posterior regulamentação de normas e leis pelo poder público, por meio da integração holística de profissionais das áreas de biologia, agronomia e engenharias.

### **3.3. Potencial Praguicida**

De acordo com Werle *et al.* (2011), a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* Smith) é a principal praga da cultura do milho no Brasil. Esta praga, também, causou prejuízos ao andamento desta pesquisa e influenciou, diretamente, os resultados alcançados, principalmente, quanto à produtividade de espigas do T2 (NPKS + micronutrientes).

Entretanto, após o término do experimento e feito um levantamento observacional, verificou-se que apenas as plantas que não receberam a urina como fertilizante foram acometidas por tal praga. A figura 5.12 mostra detalhes das plantas que sofreram danos ocasionados pela lagarta-do-cartucho.

Figura 5.13 – Plantas do tratamento com NPKS antes (A) e depois (B, C,D) da ocorrência da lagarta-de-cartucho. Aquiraz – CE, 2009



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Já existem publicações que consideram a urina como fertiprotetores, ou seja, produtos que fornecem nutrientes às plantas, influenciando positivamente no processo metabólico das mesmas, além de contribuírem para o controle de parasitas (PESAGRO-RIO, 2002; FERNANDES *et al.*, 2008). Em uma pesquisa por meio de entrevistas semi-estruturadas, agricultores orgânicos apontaram o uso da urina no controle da mosca-branca (*Bemisia argentifolii*) e oídio do tomateiro (SOUSA *et al.*, 2012).

Portanto, duas hipóteses devem ser levantadas: (1) a ocorrência da praga apenas nas plantas fertilizadas com NPKS se deve ao acaso e (2) a urina é um potencial praguicida à lagarta-do-cartucho.

## 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 4.1. Conclusões

- As alturas médias das plantas foram iguais a 129,8; 158,3; 144,1; 140,4 e 151,2, respectivamente para T1 (adubação orgânica); T2 (fertilização química); T3 (aplicação de urina em uma vez a dose recomendada); T4 (0,5 da dose de urina); T5 (1,5 da dose de urina). Porém, estas diferenças não foram estatisticamente comprovadas ( $p>0,05$ ). Desta forma, a altura da planta não variou quando se utilizou adubação orgânica, adubação química e adubação com urina diferenciando as taxas para menos e mais 50% da dose recomendada ( $p>0,05$ ).
- Da mesma forma, com relação ao índice de espigas, não foi evidenciado efeito significativo ( $p>0,05$ ) ao aplicar os tratamentos com urina, e adubações orgânica e química.
- A fertilização química, e a aplicação da urina proporcionaram incrementos significativos tanto no diâmetro, quanto no comprimento da espiga, quando comparados com a adubação orgânica (esterco curtido). Os diâmetros medianos das espigas foram iguais a 40,69; 40,96; 42,93; 44,23, respectivamente para T2; T3; T4 e T5. A aplicação de 1,5 vezes a dose recomendada de urina resultou no maior diâmetro, valor este superior em 21,8% à T1 (tratamento controle). Para a variável comprimento da espiga, novamente, a maior média foi verificada em T5, com valor igual a 16,46 cm, e a menor em T1, com valor igual a 13,42 cm, constituindo uma diferença de 18,5%.
- Pelo teste estatístico empregado, não foram encontradas diferenças significativas ao aumentar as doses (T3, T4 e T5), nem de utilizar o fertilizante químico (T2), para as variáveis diâmetro e comprimento da espiga.
- As produtividades médias das espigas despalhadas foram iguais a 5068,8; 7937,5; 8831,3; 7393,8 e 10006,3 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para T1; T2; T3; T4 e T5, representando efeito expressivo ( $p<0,05$ ) entre aplicar urina na taxa de 1,5 ou 1 e aplicar urina na taxa de 0,5 ou adubo químico. Todavia, T1 (adubo orgânico) alcançou a menor produtividade, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Logo, o peso das espigas variou conforme o tipo de adubação (química ou urina) e quanto ao volume de urina aplicado.



- Apesar da ocorrência da praga em T2 (tratamento com adubação química) comprometendo sua produtividade, pode-se inferir a partir dos resultados obtidos que a urina foi capaz de suprir a demanda nutricional do milho híbrido em termos de crescimento e produção, podendo ser utilizada como um fertilizante natural com a finalidade de complementar ou até mesmo substituir a adubação química, reduzindo, consideravelmente, os custos do pequeno agricultor para a produção de alimento no padrão comercial.
- A urina se mostrou como um potencial praguicida à lagarta-do-cartucho, pois nenhuma das plantas que recebeu este tratamento foi acometida por tal praga, a qual prejudicou a produtividade do tratamento com NPKS.
- Do ponto de vista experimental, o presente estudo evidenciou resultados promissores acerca da utilização de urina humana na fertilização de *Zea mays*, indicando um potencial da aplicação deste excreta na agricultura com intuito de reduzir o consumo ou até em alguns casos substituir o uso de fertilizantes químicos

#### **4.2. Recomendações**

- Recomenda-se realizar uma pesquisa utilizando mais tratamentos para verificar a potencialização e a interação da urina com o adubo químico, ou seja, variar as concentrações de urina e os níveis de adubação química.
- Avaliar a concentração dos nutrientes no milho híbrido e realizar pesquisas de qualidade de sabor do fruto.
- Sugere-se que pesquisas sejam direcionadas para a avaliação do real poder praguicida da urina humana à lagarta-do-cartucho e outras pragas, como insetos, fungos e parasitas.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2012: **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2012. 512 p.
- AKPAN-IDIOKA, A. U.; UDOB, I. A.; BRAIDEC, E. I. The use of human urine as an organic fertilizer in the production of okra (*Abelmoschus esculentus*) in South Eastern Nigeria. **Resources, Conservation and Recycling**, 62, p. 14-20. 2012.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. da. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 24, n. 2., p. 69-76, Abr/Jun. 2008.
- ALLEN, J. C. Backyard Urine Recycling in the United States of America: An Assessment of Methods and Motivations. EcoSan Club, **Sustainable Sanitation Practice Journals**, Issue 3, 2010. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1033>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.
- ALMEIDA, M. L.; MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.
- ARNON, I. **Mineral nutrition maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- BÄNZIGER, M.; BETRAN, F. J.; LAFFITE, H. R. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. **Crop Science**, v. 37, n. 04, p. 1103-1109, 1997.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.31, p. 601-605, 2007.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p. 601-605, 2007.
- BASTOS, E. A. *et al.* Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**. v. 39, n. 02, p. 275-280, 2008.
- BREMM, R. R. R.; DAMASCENO, S. G.; SECCO, D.; VILAS BOAS, M. A.; TORRES, D. G. B.; MEES, J. B. R.; KUMMER, L. Potencial de uso de lodo de esgoto na cultura do milho em latossolo argiloso no oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 23, p. 17-24, 2012.
- CAMPOS, M. C. C, V SILVA, V. A. da; CAVALCANTE, I. H. L. BECKMANN, Z. Produtividade e características agronômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 77-84, 2010.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MEL O, F. de B. Performance de cultivares de milho-verde no município de Teresina, Piauí. Embrapa Meio-Norte. **Comunicado técnico**, 227. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

CARVALHO, E. V.; AFFÉRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 392-403, 2011.

CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A.; STEINER, F.; COSTA, M. M. S. C.; COSTA, L. A. M. Sistemas de produção e sua influência na cultura do milho safrinha em plantio direto. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 47-57, 2011.

CASTRO, R. S. **Rendimentos de Espigas Verdes e de Grãos de Cultivares de Milho após a Colheita da Primeira Espiga como Minimilho**. 2010. Tese (Doutorado em Fitotecnia Área de Concentração Agricultura Tropical) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, Rio Grande do Norte. 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries históricas relativas às safras 1976/77 a 2009/2010 de área plantada, produtividade e produção**. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos). Acesso em: 22 de dez. 2012.

COSTA, Z. V. B. da. **Uso de Esgoto Doméstico Primário em um Argissolo Cultivado com Milho no Assentamento Milagres, Apodi-RN**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, Rio Grande do Norte. 2012.

CRUZ, J. C. **Cultivo do milho**. Versão Eletrônica - 7ª edição. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivadoMilho/index.htm>. Acesso em: 12 nov. 2011.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 87).

CURITIBA. **Decreto n° 212**, de 29 de março de 2007. Aprova o Regulamento de Edificações do Município de Curitiba e dá outras providências. Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/legislacao-smu-smu-secretaria-municipal-do-urbanismo/211>. Acesso em 20 de nov. 2012.

DOURADO NETO, D.D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P.A.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P.; ROMANO, M.R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, p.63-77, 2003.

DUARTE, S. L.; PEREIRA, C.A.; ALMEIDA, L. C. F. de; TAVARES, M.; REIS, E. A. dos. Análise das variáveis dos custos de produção do milho no período da safra. In: SEGET – SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, VII. 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Associação Educacional Dom Bosco, Rio de Janeiro - RJ, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FERNANDES, M. C. A.; LEITE, E. C. B.; MOREIRA, V. E. **Defensivos alternativos**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. 16 p.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G. P.; CARDOSO, A. A. Características agrônômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.131-138, 2001.

FIDELIS, R. R. *et al.* Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 03, p.147-153, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED (FAOSTAT-2010). Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 23 de out. 2011.

FREIRE, F. M.; VIANA, M. C. M.; MASCARENHAS, M. H. T.; PEDROSA, M. W.; COELHO, A. C.; ANDRADE, C. de L. T. de. Produtividade Econômica e Componentes da Produção de Espigas Verdes de Milho em Função da Adubação Nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p. 213-222, 2010.

FREITAS, W. da S.; OLIVEIRA, R. A. de; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de Suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.120-125, 2004.

GALDOS, M.V.; MARIA, I.C. de; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.569-577, 2004.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2004. 366p.

GANROT, Z.; DAVE, G.; NILSSON, E.; LI, B. Plant availability of nutrients recovered as solids from human urine tested in climate chamber on *Triticum aestivum* L. **Bioresource Technology**. 98, p. 3122–3129. 2007.

GERMER, J.; ADDAIB, S.; SAUERBORNA, J. Response of grain sorghum to fertilisation with human urine. **Field Crops Research**, 122, p. 234-241.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, v.36, p. 1689-1695, 2006.

GTZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT - **Worldwide list of documented ecosan projects by various organisations**. 2012. Disponível em: <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/30631.htm>. Acesso em: 19 de dez. 2012.

GUZHA, E.; NHAPI, I.; ROCKSTRÖM, J. An assessment of the effect of human faeces and urine on maize production and water productivity. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 30, p. 840–845. 2005.

HANASHIRO, R. K.; DUARTE, A. P.; SAWAZAKI, E. Fenologia de Híbridos de Milho Contrastantes Quanto ao Ciclo de Desenvolvimento. **Anais do XXIX Congresso Nacional De Milho e Sorgo** - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012. 2012.

HEINONEN-TANSKI, H.; WIJK-SIJBESMA, C. v. Human excreta for plant production. **Bioresource Technology**, 96, p. 403–411. 2005.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, Porto Alegre, ed. comemorativa, v.7, n.4, p.75-97, dez. 2002.

INACIO, A. **Commodities Agrícolas**. Sistema FAEP boletim diário. São Paulo: 20 de maio de 2011. Disponível em: <[http://www.sistemafaep.org.br/Estatico/BoletimDiario/bol\\_diario200511.html](http://www.sistemafaep.org.br/Estatico/BoletimDiario/bol_diario200511.html)>. Acesso em: 15 de junho 2011.

JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; HÖGLUND, C.; STINTZING, A. R.; RODHE, L. **Urine separation – closing the nutrient cycle** (English version of report originally published in Swedish). Stockholm Water Company. Stockholm., Sweden, 2001.

JÖNSSON H, STINZING A.R.;VINNERÅS, B.; SALOMON, E. **Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production**, EcoSanRes Publication Series Report 2004-2, Stockholm Environment Institute, Sweden; 2004.

JÚNIOR, A. J.; RIBEIRO, T. A. P.; JÚNIOR, D. R. de P. Eficiência do Reuso de Águas Residuárias na Irrigação da Cultura do Milho. **Irriga Brazilian Journal of Irrigation and Dranaige**. Botucatu, v. 15,n. 3, p. 231-247, 2010.

KAPPES, C. **Desempenho de Híbridos de Milho em Diferentes Arranjos Espaciais de Plantas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Especialidade: Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira – SP, 2010.

KARAK, T.; BHATTACHARYYA, P. Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. **Resource Conservation Recycling**. 2011, doi:10.1016/j.resconrec.2010.12.008.

KASSA, K.; MEINZINGER, F.; ZEWDIE, W. Experiences from the use of urine in Arba Minch, Ethiopia. EcoSan Club, **Sustainable Sanitation Practice Journals**, Issue 3, 2010. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1033>. Acesso em: 27 de setembro de 2011.

KUISMA, A. **Sustainable wastewater management in the european union**. The Hague University of Applied Sciences. WECF. 2008. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=851>. Acesso em: 13 de nov. 2011.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H. Produção de grão e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.563-574, 2003.

MATA, J. F.; DA SILVA, J. C.; RIBEIRO, J. F.; AFFÉRI, F. S.; VIEIRA, L. M. Produção de milho híbrido sob doses de esterco bovino, **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.3, 2010.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. Efeito das doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. Efeito das doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.449-455, 1994.

METCALF; EDDY. **Waste water engineering: treatment, disposal and reuse**. 4. ed. rev. New York: McGraw-Hill, 2003.1819 p.

MIZYED, N. R. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. **Environmental Science & Policy**, v. 25. p. 186-195, 2013.

MNKENI, P.N.S.; KUTU, F.R.; MUCHAONYERWA, P.; AUSTIN, L.M. Evaluation of human urine as a source of nutrients for selected vegetables and maize under tunnel house conditions in the Eastern Cape, South Africa. **Waste Manage. Res. J.** 26, p. 132-139. 2008.

MORGAN, P. Ecological Sanitation in Southern Africa - Many approaches to a varied need. **Ecological Sanitation Research (EcoSanRes)**, Stockholm Environment Institute (SEI), 2005. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=982>. Acesso em: 14 de out. de 2012.

MORGAN, P. **Experiments using urine and humus derived from ecological toilets as a source of nutrients for growing crops**. 3rd World Water Forum, 16 a 23 de março/03. 2003. Disponível em: <http://aquamor.tripod.com/KYOTO.htm>. Acesso em: 10 dez. 2012.

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.

NAVAL, L. P.; JUNIOR, F. A. **Reúso de Esgoto Tratado para Fins Agrícolas**. Apostila do I Curso de Reuso de Água. Palmas, Abr. 2011.

NITERÓI. **Lei nº 2856**, de 25 de julho de 2011. Estende as obrigações da Lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/showinglaw.pl>. Acesso em: 12 de dez. 2012.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; MACHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.3, p.538-544, 2005.

PESAGRO-RIO. **Urina de vaca: alternativa eficiente e barata**. Niterói, 2002. 8 p. (PESAGRO. Documento, 96).

PEREIRA FILHO, I. A. ; CRUZ, J. C. ; GAMA, E. E. G. E. . Cultivares de milho para o consumo verde. **Circular Técnica**. Embrapa Milho e Sorgo, v. 1, p. 18-30, 2002.

PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ,J.C. Milho verde: espaçamentos, densidade de plantas, cultivares e épocas de semeadura influenciando o rendimento e algumas características de espigas comerciais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife, PE. **Globalização e segurança alimentar** – resumos expandidos. Recife: ABMS, 1998. CD ROM.

PEREIRA, M. G. ; SILVA, D. A. ; ANDRADE NETO, C. O. de ; MELO, H. N. S. ; GRACINDO, A. P. A. C. . Uso de Efluentes de "Wetland" e Filtro Rudimentar na Fertirrigação de Milho. In: V CONGRESSO REGIONAL DE AIDIS - IV REGIÓN, 2005, Assunção. **Anais....** Assunção: AIDIS, 2005. CD-ROM.

PRADHAN S.K., HOLOPAINEN J.K. AND HEINONEN-TANSKI H. Stored Human Urine Supplemented with Wood Ash as Fertilizer in Tomato (*Solanum lycopersicum*) Cultivation and Its Impacts on Fruit Yield and Quality. **Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7612–7617, 2009.

PRADHAN, S. K. **Yield and quality of vegetables fertilized with human urine and wood ash**. 2010b. Tese (Doutorado em in Forestry and Natural Sciences) Programa de Pós-Graduação em Forestry and Natural Sciences, Department of Environmental Science, University of Eastern Finland. Kuopio, Finland. 2010b.

PRADHAN, S. K.; HOLOPAINEN, J. K.; WEISELL, J.; HEINONEN-TANSKI, H. Human Urine and Wood Ash as Plant Nutrients for Red Beet (*Beta vulgaris*) Cultivation: impacts on Yield Quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58, p. 2034 – 2039. 2010a.

PRADHAN, S.K.; NERG, A.M.; SJOBLOM, A.; HOLOPAINEN, J.K.; HEINONEN-TANSKI, H. Use of Human Urine Fertilizer in cultivation of Cabbage (*Brassica oleracea*) – Impact on chemical, Microbial, and Flavor Quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 8657 – 8863. 2007.

REBOUÇAS, J.R.L.; DIAS, N.S.; GONZAGA, M.I.S.; GHEYI, H.R.; SOUSA NETO, O.N. Crescimento do Feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.23, n. 1, p. 97-102, 2010.

RICHERT, A.; GENSCHE, R.; JOENSSON, H.; STENSTROEM, T.A.; DAGERSKOG, L. **Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production**. Stockholm: Stockholm Environment Institute (SEI). 2010. Disponível em: [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/ESR2010-1-PracticalGuidanceOnTheUseOfUrineInCropProduction.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR2010-1-PracticalGuidanceOnTheUseOfUrineInCropProduction.pdf). Acesso em: 10 de out. 2011.

RIOS, E.C.; de FREITAS, L. T.; ZANCHETA, P. G.; da COSTA, A. N.; GONÇALVES, R. F. Utilização de Aguas Amarelas como Fertilizante Natural no Cultivo Agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2007, ABES. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte – MG, Brasil. 2007. CD-ROM.

RODHE, L.; STINTZING, A.R. STEINECK, S. Ammonia emissions after application of human urine to a clay soil for barley growth. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, p. 191–198, 2004

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.1, p.159-168, 2000.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura de milho num solo com alto teor de matéria orgânica**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 29, n.1, p.13-24, 1994.

SENE, M.; HIJIKATA, N.; USHIJIMA, K.; FUNAMIZU, N. Adequate human urine application pattern for agriculture. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 2(1), p. 38-45. 2012. Disponível em: <http://www.interestjournals.org/IRJAS>. Acesso em: 10 de dez. 2012.

SHAW, R. **The Use of Human Urine as Crop Fertilizer in Mali, West Africa**. Relatório integrante dos requisitos para obtenção do Mestrado em Programa Internacional. Master of Science in Environmental Engineering Michigan Technological University. Engenharia Civil e Ambiental. 2010. Disponível em: <http://cee.eng.usf.edu/peacecorps/5%20-%20Resources/Theses/Sanitation/2010Shaw.pdf>. Acesso em: 11 de nov. 2012.

SHUVAL, H. I. **Water Renovation and Reuse, Considerations in Water Renovation and Reuse**, Nova Iorque: Academic Press. 1977.

SILVA, D. M. F. da; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. Produção de milho híbrido no Estado do Ceará: aspectos tecnológicos, competitivos, geração de emprego e renda. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 1, p. 119-146, 2006.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2003.

SOUSA, M. F. de; SILVA, L. V.; BRITO, M. D. de; FURTADO, D. C. de M. Tipos de controle alternativo de pragas e doenças nos cultivos orgânicos no estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 1, p. 132-138, 2012

SOUZA, R.A.S.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J.; FONTOURA, R.C. Extração sequencial de zinco e cobre em solos tratados com lodo de esgoto e composto de lixo. **Química Nova** v.35, n.2, p. 308-314, 2012.

TELLES, D. A.; COSTA, R. P. (Coord.) **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p

TIDÅKER, P.; MATTSSON, B.; JONSSON, H. Environmental impact of wheat production using human urine and mineral fertilisers - a scenario study. **Journal of Cleaner Production**. 15. p. 52-62. 2007.



TOZETTI, A. D.; BILLIA, R.C.; SILVA, C.; CERVIGNI, G.; GOMES, O.M. T. Avaliação de progênies de milho na presença e ausência de adubo. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia** – ISSN 1677- 0293 Periodicidade Semestral – Ano III Edição Número 5 – Junho de 2004.

TURCO, G.M.S. **Produção e composição física da planta de milho para silagem, cultivado em dois níveis de adubação associado a dois espaçamentos entre linhas e duas densidades de plantio**. 2011, 134p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse. **Technical Report No EPA/625/R-04/108**. Washington: USEPA, 2004.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECCO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (Bt), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.4, n.1, p.150–168, 2011.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater - Volume I: Policy And Regulatory Aspects**. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2006. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf). Acesso em: 13 de janeiro de 2011.

WINKER, M.; CLEMENS, J.; REICH, M.; GULYAS, H.; OTTERPOHL, R. Ryegrass uptake of carbamazepine and ibuprofen applied by urine fertilization. **Science of the Total Environment**, v. 408(8), p. 1902-1908. 2010.

ZANIN, C. G. **Área foliar, senescência e uniformidade de desenvolvimento na adaptação ao adensamento de plantas de cultivares de milho com bases genéticas contrastantes**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC, Lages, 2007.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-DIAGNÓSTICO

### INFORMAÇÕES GERAIS

Município: Aquiraz	Bairro: Vila Tomé		
Data do Relatório:	dd mm aa	Fotos: de _____ a _____	
Entrevistador			Nº Quest.

### A. QUESTIONÁRIO DOMICILIAR

I. CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO E MORADORES			
NOME: _____ (CHEFE DA FAMÍLIA)	SEXO: 1. M 2. F		S:
ESCOLARIDADE: 1. Analfabeto 2. 1º Grau Incompleto 3. 1º Grau Completo	4. 2º Grau Incompleto 5. 2º Grau Completo 6. Superior Incompleto	7. Superior Completo 8. Técnico Incompleto 9. Técnico Completo	E:
1.1 Desde quando mora nesta localidade ? _____ / _____ mm aa			1.1
1.2 Qual a renda familiar? (em salários mínimos)      1. 0 – 1      2. 1 – 2      3. 3 – 4      4. 4 ou mais			1.2
1.3 A sua casa é:                      1. Própria      2. Alugada      3. Cedida			1.3

II. DESCRIÇÃO DO LOTE	
2.1 Delimitação do lote ( <i>admite respostas múltiplas</i> ) 1. Sem delimitação    2. Cerca e arame    3. Muro    4. Recurso natural    5. Vegetação    6. Outra Qual? _____ * admite respostas múltiplas	2.1
2.2 Área do lote	2.2
<b>Acesso ao lote</b>	
2.3 Pavimentação      1. Asfalto      2. Calçamento      3. Piçarra      4. Outro _____	2.3
2.4 Estado de manutenção da via                      1. Bom      2. Regular      3. Ruim	2.4
2.5 Dificuldade de acesso ao lote / domicílio 1. Sim      2. Não      3. Mais ou menos      4. Quando chove      5. Não sabe	2.5
2.6 Uso da propriedade ( <i>admite múltiplas respostas</i> ) 1. residência                                      3. agricultura 2. misto (residência e comércio)            4. pecuária 5. outro _____	2.6

III. ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
3.1 Fonte de abastecimento predominante na casa: 1. Rede geral    2. Poço / Nascente    3. Água da Chuva    4. Chafariz    5. Rio / Lago    6. Outra _____	3.1
3.2 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	3.2
3.3 Forma predominante de armazenamento: 1. Caixa d'água      2. Cisterna      3. Pote / Recipiente      4. Outro _____	3.3
3.4 Mantém o local de armazenamento tampado?                      1. SIM                      2. NÃO	3.4
3.5 Realiza limpeza / manutenção do local de armazenamento?                      1. SIM                      2. NÃO	3.5
3.6 Periodicidade da limpeza do local de armazenamento: 1. Diária    2. Semanal    3. Mensal    4. Semestral    5. Anual    6. Outra    7. Não sabe	3.6
3.7 A água chega em quantidade suficiente na sua casa?    1. SIM                      2. NÃO                      3. NÃO SABE	3.7

3.8 Quando costuma faltar água? 1. Frequentemente (semanalmente) 2. Esporadicamente (mensalmente) 3. Raramente (poucas vezes ao ano) 4. Sazonalmente (períodos de estiagem) 5. Nunca 6. Não sabe	3.8
3.9 Armazena água para períodos de escassez? 1. SIM Onde? _____ Origem _____ 2. NÃO	3.9
3.10 Faz algum tratamento da água para beber? 1. Não 2. Fervura 3. Cloração 4. Filtro 5. Filtro de carvão / areia 6. Não Sabe	3.10
3.11 A água que utiliza para beber é a mesma utilizada no banheiro e na cozinha? 1. SIM 2. NÃO	3.11
<b>Caso a resposta seja SIM, passe para a questão 4.1</b>	
3.12 Caso Não, Qual a origem da água utilizada para beber? (não é onde armazenada) 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	3.12
3.13 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	3.13
3.14 Qual a origem da água utilizada para cozinhar (na cozinha / pia da cozinha)? (não é onde armazenada) 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	3.14
3.15 Tipo de tratamento: 1. Cloração 2. Fervura 3. Filtro 4. Filtro de carvão / areia 5. Não Sabe 6. Não trata 7. Outro _____	3.15
3.16 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	3.16
3.17 Qual a origem da água utilizada no banheiro (higiene pessoal) ? (não é onde armazenada) 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	3.17
3.18 Tipo de tratamento: 1. Cloração 2. Fervura 3. Filtro 4. Filtro de carvão / areia 5. Não Sabe 6. Não trata 7. Outro _____	3.18
3.19 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	3.19
<b>OBSERVAÇÕES</b>	

<b>IV. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS MOLHADAS (BANHEIRO)</b>				
4.1 Tipo de banheiro 1. Banheiro de alvenaria 2. Fossa negra 3. Banho				4.1
4.2 Localização 1. Fora da casa 2. Dentro da casa				4.2
4.3 Materiais predominantes (observar e fotografar)				4.3
Material da cobertura (MC) 1. Telhado de cerâmica 2. Laje 3. Telhado de Fibro Cimento 4. Palha 5. Outro. Qual?	Material das Paredes (MPA) 1. Tijolo cerâmico 8 furos 2. Tijolo maciço 3. Pau-a-pique / taipa 4. Madeira 5. Palha 5. Outro. Qual? _____	Revestimento interno (RI) 1. Sem revestimento 2. Reboco 3. Cerâmica / azulejo	Material do Piso (MP) 1. Terra batida 2. Areia 3. Pedra 4. Cimentado 5. Cerâmica	<b>MC:</b> <b>MPA:</b> <b>RI:</b> <b>MP:</b>

<b>4.4 Conforto ambiental (observar e fotografar)</b>			<b>4.4</b>
1. Ventilação adequada	3. Iluminação natural adequada		
2. Ventilação inadequada	4. Iluminação natural inadequada		
4.5 O banheiro possui água contínua?	1. SIM	2. NÃO	<b>4.5</b>

<b>Somente para banheiro de alvenaria</b>							
4.6 O banheiro possui:				<b>4.6</b>			
1. Sanitário	2. Chuveiro	3. Torneira	4. Pia				
4.7 Origem do banheiro				<b>4.7</b>			
1. Construído pelo morador	2. Projeto social	3. Outro _____	4. Não sabe				
4.8 Como está funcionando o banheiro instalado?				<b>4.8</b>			
1. BEM	2. MAL	3. MAIS OU MENOS	3. NÃO SABE				
4.9 Por que? ( <i>sugestões</i> )				<b>4.9</b>			
1. manutenção pelos moradores	4. execução da obra						
2. forma de uso pelos moradores	5. qualidade dos materiais						
3. projeto	6. falta de água						
4.10 Realiza limpeza / manutenção do banheiro?		1. SIM	2. NÃO	<b>4.10</b>			
4.11 Periodicidade da limpeza		1. Diária	2. Semanal	3. Mensal	4. Outra	5. Não sabe	<b>4.11</b>
<b>OBSERVAÇÕES</b>							

<b>V. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS MOLHADAS (COZINHA)</b>								
5.1 Possui Cozinha?		1. SIM	2. NÃO					<b>5.1</b>
5.2 Localização da cozinha		1. Fora da casa	2. Dentro da casa	3. Lateral (externa)				<b>5.2</b>
5.3 Localização da pia		1. Fora da casa	2. Dentro da casa	3. Lateral (externa)				<b>5.3</b>
5.4 Possui tanque de lavar roupa?		1. SIM	2. NÃO					<b>5.4</b>
5.5 Localização do tanque		1. Fora da casa	2. Dentro da casa	3. Lateral (externa)				<b>5.5</b>
<b>OBSERVAÇÕES</b>								

<b>VI. ESGOTAMENTO</b>								
6.1 Para onde vai a água cinza?		5. Córrego / Rio / lago						<b>6.1</b>
1. Rede de esgoto		6. Jogado na rua / logradouro						
2. Fossa séptica		7. Lançado no terreno						
3. Fossa rudimentar		8. Reaproveitada. Como? _____						
4. Rede de drenagem		9. Não sabe						
		10. Outro _____						
6.2 Para onde vai a água negra?		6. Córrego / Rio / lago						<b>6.2</b>
1. Rede de esgoto		7. Jogado na rua / logradouro						
2. Fossa séptica		8. Lançado no terreno						
3. Fossa rudimentar		9. Reaproveitada. Como? _____						
4. Fossa negra		10. Não sabe						
5. Rede de drenagem		11. Outro _____						
6.3 Está satisfeito com o esgotamento?		1. SIM	2. NÃO	3. NÃO SABE				<b>6.3</b>
6.4 Por que? ( <i>admite respostas múltiplas</i> )								<b>6.4</b>
1. manutenção pelos moradores								
2. forma de uso pelos moradores								
3. projeto								
4. execução da obra								
5. qualidade dos materiais								
6. falta de água								

<b>VII. COLETA DE LIXO</b>	
7.1 Qual o destino final do lixo da casa? 1. Deixa na porta de casa para ser coletado 2. Deixa em outro ponto para ser coletado 3. Leva para caçamba ou lixeira 4. Queima 5. Enterra 6. Jogado em terreno baldio 7. Jogado em rio / lagoa 7. Outro _____	<b>7.1</b>
<b>Somente para áreas com coleta públicas ou caçamba (7.2 a 7.4)</b>	
7.2 Quantas vezes o lixo é retirado? (coleta ou recolhimento da lixeira / caçamba) 1. 1 vez/semana    2. 2 vezes / semana    3. 3 a 4 vezes / semana    4. Menos que 1 vez / semana	<b>7.2</b>
7.3 Como está funcionando a coleta do lixo da casa? 1. BEM    2. MAL    3. MAIS OU MENOS    3. NÃO SABE	<b>7.3</b>
7.4 Por que? ( <i>admite respostas múltiplas</i> ) 1. qualidade do serviço de coleta 2. periodicidade do serviço de coleta 3. forma de uso pelos moradores 4. localização das caçambas ou lixeiras 5. capacidade dos caminhões 6. não sabe 7. Outra _____	<b>7.4</b>
7.5 Tem alguma dificuldade para eliminar o lixo produzido? Qual? Por que? 1. SIM    2. NÃO    3. NÃO SABE	<b>7.5</b>
7.6 Realiza alguma separação do lixo produzido? Qual? 1. SIM    2. NÃO    3. NÃO SABE	<b>7.6</b>
7.7 Onde e como armazena o lixo produzido?	<b>7.7</b>
7.8 Existe lixo acumulado na propriedade? Que tipo de lixo? ( <i>observar / fotografar</i> )	<b>7.8</b>

<b>VIII. SAÚDE PÚBLICA</b>	
8.1 Existiram casos de diarreia na família nos últimos 6 meses? Se sim, quantos? 1. SIM    2. NÃO	<b>8.1</b>
8.2 No último ano houve algum caso de: 1. Dengue    2. Cólera    3. Leptospirose    4. Verminose	<b>8.2</b>
8.3 Tem o hábito de lavar as mãos ao utilizar o banheiro ou antes das refeições? 1. Sim    2. Não	<b>8.3</b>
8.4 Há agente de saúde comunitário na localidade? 1. SIM    2. NÃO	<b>8.4</b>
8.5 Qual a periodicidade da visita do agente de saúde? 1. mais de uma vez / semana    2. uma vez / semana    3. menos de uma vez / semana	<b>8.5</b>
8.6 Qual o tratamento para água de beber sugerido pelo agente de saúde?	<b>8.6</b>
8.7 Há profissionais do PSF na localidade? 1. SIM    2. NÃO	<b>8.7</b>
8.8 Qual a periodicidade da visita do profissional de saúde à comunidade? 1. mais de uma vez / semana    2. uma vez / semana    3. menos de uma vez / semana	<b>8.8</b>
8.9 Quantas vezes costumam ir ao médico? 1. Frequentemente (semanalmente) 2. Esporadicamente (mensalmente) 3. Raramente (poucas vezes ao ano) 4. Nunca 5. Não sabe	<b>8.9</b>
8.10 Qual o tratamento para água de beber sugerido pelo profissional do PSF?	<b>8.10</b>

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE ACEITABILIDADE DO ECOSSANEAMENTO

Nome: \_\_\_\_\_ N°: \_\_\_\_\_

Nome\*: \_\_\_\_\_

(\* em caso de mudança do(a) entrevistado(a).

N° de moradores: \_\_\_\_\_

Idade(s):

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Quantidade de banheiros: \_\_\_\_\_

1. Você acha bom, ruim ou 'mais ou menos' o seu tratamento de:

➤ Água: Bom ( ) Ruim ( ) 'Mais ou menos' ( )

Por quê: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

➤ Esgoto: Bom ( ) Ruim ( ) 'Mais ou menos' ( )

Por quê: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

➤ Resíduos Sólidos: Bom ( ) Ruim ( ) 'Mais ou menos' ( )

Por quê: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Você já ouviu falar em saneamento ecológico?

➤ Sim ( ) Não ( )

Se sim, como? \_\_\_\_\_

O que você entendeu sobre saneamento ecológico?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- ❖ *Separar a urina das fezes em um banheiro ecológico*
- ❖ *Converter os excretas humanas em material seguro*
- ❖ *Prevenir a contaminação do lençol freático por sistemas de saneamento inadequados*

❖ Usar os excretas de maneira segura na agricultura e subsequente reúso de nutrientes.

1. Você faria isso na sua casa?

➤ Sim ( ) Não ( )

Por quê: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. O que você acha melhor?

➤ Vaso seco ( ) Vaso com água ( )

Por quê: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Vaso seco	Vaso com água
<p><i>Vantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Economia de água</li> <li>➤ O material (fezes) necessitará de tratamento mais simples e menos oneroso como desidratação e decomposição</li> <li>➤ Não contamina o lençol freático</li> </ul>	<p><i>Vantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Não é necessária a manipulação desse material</li> </ul>
<p><i>Desvantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Necessidade de manipulação desse material</li> </ul>	<p><i>Desvantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Desperdício de água</li> <li>➤ Uma quantidade relativamente pequena de material perigoso – as fezes humanas podem contaminar uma grande quantidade de água.</li> <li>➤ Necessidade de um tratamento mais rigoroso e mais caro</li> </ul>

3. Você acha que haveria algum problema se os homens tivessem que fazer xixi sentados (ou acha que precisa de um mictório)?

• Sim ( ) Não ( )

Por quê?: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_