



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**EFEITO DO ARMAZENAMENTO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE URINA E ÁGUAS AMARELAS**

Edjane Suênia Costa da Silva Martins

Campina Grande-PB

2016

EDJANE SUÊNIA COSTA DA SILVA MARTINS

**EFEITO DO ARMAZENAMENTO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE URINA E ÁGUAS AMARELAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Ciência e Tecnologia Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, em
cumprimento às exigências para obtenção do
título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof.Dr. Rui de Oliveira

CAMPINA GRANDE – PB

2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

M386e Martins, Edjane Suênia Costa da Silva
Efeito do armazenamento sobre as características de urina e
águas amarelas [manuscrito] / Edjane Suênia Costa da Silva
Martins. - 2016.
86 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia Ambiental) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2016.

"Orientação: Prof. Drº. Rui de Oliveira, Departamento de
Ciência e tecnologia".

1. Efeitos de Armazenamento. 2. Urina humana. 3. Águas
amarelas. 4. Sustentabilidade. I. Título.

21. ed. CDD 711.8

EDJANE SUÊNIA COSTA DA SILVA MARTINS

**EFEITO DO ARMAZENAMENTO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE URINA E ÁGUAS AMARELAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ciência e
Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da
Paraíba- UEPB, em cumprimento às exigências
para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 25/02/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Rui de Oliveira
Orientador


Prof. Dra. Mônica de Amorim Coura
Examinadora externa


Prof. Dr. José Tavares de Sousa
Examinador interno

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por ter me permitido estar aqui e encontrar as pessoas certas pelo meu caminho, pela inspiração, força e amparo;

Ao Prof. Dr. **Rui de Oliveira** pela orientação, compreensão e principalmente pela confiança, amizade e incentivo; que me acolheu desde o início deste trabalho, sempre motivando a continuar, sendo muito importante na construção do meu conhecimento.

Aos meus pais *Ednaldo* e *Joseleusa*, 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 filho *Wendel*. Você é: a minha motivação, o meu acordar, o meu respirar, a minha razão.

Ao meu esposo *Wagner Martins*, por compartilhar todos os momentos de felicidade e de angústia, pela compreensão nas horas de stress.

Aos meus *Irmãos*, pelos conselhos, principalmente a minha irmã, que me ajudou muito para essa conquista.

A minha *vozinha*, por todas as palavras de incentivo.

A minha sogra Dona Fátima pela paciência e ao meu sogro “Seu Basto” (*in memoriam*)

Ao Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande por sempre manter suas portas abertas e a equipe dona Val, seu Tiquinho, Antônio, dona Cristina, dona Savana pelo apoio na pesquisa. Obrigada pelo carinho e ajuda de todos vocês.

A professora Mônica Amorim pelo apoio e atenção dada.

Aos amigos do mestrado que não mediram esforços em me ajudar, em especial Erica, Geovânia e Yohanna.

Por fim, agradeço a todos, que diretamente e indiretamente me motivaram e ajudaram a chegar até aqui.

Muito Obrigada!

RESUMO

Grande parte dos nutrientes que são essenciais na agricultura, como nitrogênio, fósforo e potássio, é encontrada na urina humana e suas quantidades significativas são, na maioria das vezes, mais apropriadas e sustentáveis do que as encontradas nos fertilizantes químicos comerciais. Devido à demanda por alternativas sustentáveis, no contexto do esgotamento sanitário ecológico, o reuso da urina humana pode ser citado como uma alternativa viável e de grande potencial na escala de sistemas descentralizados de tratamento de águas residuárias. A pesquisa que fundamentou este trabalho foi dividida em duas etapas, tendo a primeira o objetivo de analisar o efeito de modos diversos (aberto e fechado) de armazenamento, como forma de tratamento da urina pura e de águas amarelas. Para tal foram utilizados quatro recipientes de urina pura e diluída a 7%, em dois recipientes com tampa e dois sem tampa. Para verificar o efeito do armazenamento foi realizada a caracterização, por meio de indicadores físicos, químicos e microbiológicos. O armazenamento da urina mostrou-se um método de higienização de baixo custo e bastante eficiente. Quanto às formas de armazenamento (aberta e fechada), a utilização de urina pura em recipientes com tampa mostrou-se mais eficiente no processo de estabilização físico-química e biológica, pois não ocorreu perda de amônia por volatilização, nem contaminações por influência do ambiente externo, a concentração de nutrientes foi considerada satisfatória e os níveis de coliformes termotolerantes tenderam à nulidade em um período de 20 dias, em temperatura ambiente (25 a 26°C). Na segunda etapa, o objetivo foi a recuperação de fósforo por precipitação levada a efeito em aparelho jar-test, no qual foram adicionadas diferentes concentrações de MgO para cada 1,0 L de urina pura e de diluída a 7%. Duas faixas de concentrações foram utilizadas - fase A (0; 0,05; 0,15; 0,30 e 0,45 g de MgO/L) e fase B (0; 0,45; 0,60; 0,75 e 0,90 g de MgO/L) -, sob agitação a 120 rpm, por um período de 2 horas. A precipitação e, conseqüentemente a recuperação de fósforo, foi diretamente relacionada às concentrações de MgO, nas duas fases.

Palavras-chave: Armazenamento, urina humana, águas amarelas, precipitação.

ABSTRACT

A large part of nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium, which are essential in agriculture, is found in human urine being their amounts, in most cases, significant, more suitable and sustainable than those in commercial fertilizers. Due to the demand for sustainable alternatives in the context of ecological sanitation, reuse of human urine can be faced as a potentially feasible alternative in the context of decentralized wastewater treatment systems. The experimental research which based this work was divided into two stages, in the first the effect of storage, within open and closed recipients, as a treatment of pure urine and yellow water, being used two containers for pure and two for a 7% dilution of urine. In order to verify the effect of storage, monitoring and evaluation were performed by means of physical, chemical and microbiological indicators. Storage of urine proved to be a cost-effective cleaning method of pure and diluted urine and. Containers with lid were more efficient in physical-chemical and biological stabilization process controlling loss of ammonia by volatilization, and contamination by the influence of the external environment. Concentrations of nutrients were maintained in high levels and fecal contamination tended to elimination in a period of 20 days, at room temperature. In the second step, the aim was the recovery of phosphorus by precipitation, carried out in a jar-test apparatus with MgO addition, at several concentrations, to pure and 7%-diluted urine to 7%. Two ranges of concentrations were used - phase A (0; 0.05; 0.15; 0.30 and 0.45 g of MgO/L) and phase B (0; 0.45; 0.60; 0.75 and 0.90 g MgO/L) - under stirring at 120 rpm, for a period of 2 hours. Precipitation and hence the phosphorus recovery was directly related to the concentration of MgO in both phases.

Keywords: storage, human urine, yellow waters, precipitation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos principais constituintes do esgoto sanitário-----	13
Tabela 2- Nutrientes disponíveis na urina humana -----	16
Tabela 3- Patógenos que podem ser excretados na urina e importância da urina como meio de transmissão para o ambiente-----	17
Tabela 4- Valores descritivos do pH dos sistemas de urina pura-----	35
Tabela 5- Valores descritivos do pH dos sistemas de urina diluída-----	36
Tabela 6- Valores descritivos da condutividade dos sistemas de urina pura-----	38
Tabela 7- Valores descritivos da condutividade dos sistemas de urina diluída-----	39
Tabela 8- Valores descritivos da temperatura dos sistemas de urina pura-----	40
Tabela 9- Valores descritivos da temperatura dos sistemas de urina diluída-----	41
Tabela 10- Valores descritivos da turbidez para os sistemas de urina pura-----	42
Tabela 11- Comparação da turbidez entre os sistemas de urina diluída (Dct) e (Dst)-----	43
Tabela 12- Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio amoniacal da urina (Pct) e (Pst)-----	44
Tabela 13- Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio amoniacal da urina (Dct) e (Dst)-----	45
Tabela 14- Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio kjeldahl da urina pura (Pct) e (Pst)-----	46
Tabela 15- Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio kjeldahl da urina diluída (Dct) e (Dst)-----	47
Tabela 16- Parâmetros amostrais descritivos da DQO da urina pura (Pct) e (Pst)-----	49
Tabela 17- Parâmetros amostrais descritivos da DQO da urina diluída (Dct e Dst)-----	49
Tabela 18- Parâmetros amostrais descritivos de fósforo total da urina pura (Pct) e (Pst)----	51
Tabela 19- Parâmetros amostrais descritivos de fósforo total da urina diluída (Dct e Dst)-	52
Tabela 20- Parâmetros amostrais descritivos do oxigênio dissolvido da urina diluída (Dct e Dst)-----	53
Tabela 21- Aumento do pH da urina pura com a adição de óxido de magnésio (Fase A e B)-----	56
Tabela 22- Resultados do pH da urina diluída com a adição das concentrações (Fase A e B)-----	56

Tabela 23- Decréscimo do nitrogênio amoniacal da urina pura (Fases A e B)-----	57
Tabela 24- Decréscimo do nitrogênio amoniacal da urina diluída (Fases A e B)-----	57
Tabela 25- Redução de concentrações de NTK da urina pura (Fases A e B)-----	58
Tabela 26- Redução de concentrações de NTK da urina diluída (Fases A e B)-----	58
Tabela 27- Recuperação de fósforo total do sobrenadante e do precipitado da urina pura (Fases A e B)-----	59
Tabela 28- Recuperação de fósforo total do sobrenadante e do precipitado da urina diluída (Fases A e B)-----	60
Tabela 29- Peso do resíduo fixo do precipitado formado nos ensaios de precipitação com a urina pura (Fases A e B)-----	60
Tabela 30- Peso do resíduo fixo do precipitado formado nos ensaios de precipitação com a urina diluída (Fases A e B)-----	60

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -Opções de tratamento e utilização dos fluxos separadores de águas residuárias-----	11
Figura 2 -Modelo de vaso sanitário compartimentado-----	12
Figura 3 -Fontes de fósforo em efluentes líquidos-----	19
Figura 4 -Cristais de estruvita-----	27
Figura 5 -Cristais de hidroxiapatita-----	27
Figura 6 -Frascos utilizados para a coleta de urina-----	28
Figura 7 -Recipientes de armazenamento da urina-----	29
Figura 8 -Representação esquemática dos recipientes utilizados-----	30
Figura 9 - Urina pura e diluída no aparelho Jar-test-----	32
Figura 10 -Amostras de urina pura e diluída em repouso-----	33
Figura 11 -Sobrenadante e precipitado da urina pura e diluída-----	33
Figura 12 -Variação do pH ao longo do período de armazenamento-----	34
Figura 13 - pH da urina pura com tampa (1) e sem tampa(2)-----	35
Figura 14 - pH da urina diluída com tampa (1) e sem tampa (2)-----	36
Figura 15 -Variação da condutividade elétrica ao longo do período de armazenamento	37
Figura 16 - condutividade elétrica do sistema de armazenamento de urina pura Pct (1) e Pst (2)-----	37
Figura 17 -condutividade do sistema de urina diluída com tampa (1) e diluída sem tampa (2)-----	38
Figura 18 -Variação da temperatura no período de armazenamento-----	39
Figura 19 -Comportamento da temperatura da urina Pct (1) e da urina Pst(2)-----	40
Figura 20 -Temperatura da urina diluída com tampa (1) e da urina diluída sem tampa (2)-----	40
Figura 21 -Variação da turbidez ao longo do período de armazenamento-----	42
Figura 22 -Comportamento da turbidez no sistema de urina Pct (1) e Pst (2)-----	42
Figura 23 -Comportamento da turbidez no sistema de urina Dct (1) e Dst (2)-----	43
Figura 24 -Comportamento da amônia na urina durante o período de armazenamento-	44
Figura 25 -Quantidade de NH_4 da urina Pct (1) e da urina Pst(2)-----	44
Figura 26 -Quantidade de NH_4 da urina Dct (1) e Dst (2)-----	45

Figura 27 -Variações de NTK durante o período de armazenamento-----	46
Figura 28 -Valores de NTK da urina Pct(1) e Pst(2)-----	46
Figura 29 -Valores de NTK do sistema de urina diluída Dct(1) e Dst(2)-----	47
Figura 30 -Resultados da DQO ao longo do período experimental de armazenamento-	48
Figura 31 -Representação box-plot dos dados amostrais de DQO da urina pura Pct (1) e Pst(2)-----	48
Figura 32 -DQO da urina Dct (1) e da urina Dst (2)-----	49
Figura 33 -Comportamento do fósforo total durante o armazenamento-----	50
Figura 34 -Representação box-plot dos dados de fósforo total da urina pura Pct (1) e Pst(2)-----	51
Figura 35 -Representação box-plot dos dados de fósforo total da urina diluída Dct (1) e Dst(2)-----	52
Figura 36 -Representação box-plot do oxigênio dissolvido da urina pura Pct (1) e Pst (2)-----	53
Figura 37 - Representação box-plot do oxigênio dissolvido da urina diluída Dct(1) e Dst(2)-----	53
Figura 38 -Comportamento de coliformes termotolerantes durante o armazenamento--	54
Figura 39 -Representação box-plot de coliformes termotolerantes da urina Pct (1) e Pst(2)-----	54
Figura 40 -Representação Box-plot de coliformes termotolerantes da urina diluída Dct(1) e Dst (2)-----	55
Figura 41 -pH da urina pura <i>versus</i> dosagens de MgO no conjunto das Fases A e B----	56
Figura 42 -pH da urina diluída <i>versus</i> dosagens de MgO no conjunto das Fases A e B-	57
Figura 43 -Decréscimo de nitrogênio amoniacal da urina pura no conjunto das Fases A e B-----	58
Figura 44 -Decréscimo de nitrogênio amoniacal da urina diluída no conjunto das Fases A e B-----	59
Figura 45 -Diminuição de NTK da urina pura no conjunto das Fases A e B-----	60
Figura 46 -Diminuição de NTK da urina diluída no conjunto das Fases A e B-----	61
Figura 47 -Redução do fósforo total da urina pura no sobrenadante das Fases A e B---	62
Figura 48 -Aumento do fósforo total da urina pura no precipitado das Fases A e B----	62

Figura 49 -Redução do fósforo total da urina diluída no sobrenadante no conjunto das Fases A e B-----	63
Figura 50 -Aumento do fósforo total da urina diluída no precipitado no conjunto das Fases A e B-----	63
Figura 51 -Aumento do resíduo fixo do precipitado na urina pura nas concentrações das Fases A e B-----	64
Figura 52 -Aumento do resíduo fixo do precipitado na urina pura nas concentrações das fases A e B-----	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Legislação sueca proposta em relação ao uso da urina na agricultura----- 22

Quadro 2- Variáveis físico-químicas e bacteriológica analisadas----- 30

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	05
2.OBJETIVOS	07
2.1 Geral.....	07
2.2 Específicos.....	07
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	08
3.1 A escassez de água.....	08
3.2 Sistemas “descentralizados” de tratamento de esgotos.....	09
3.3 Esgotamento sanitário ecológico.....	10
3.4 Sistemas separadores da urina.....	12
3.5 Características gerais da urina.....	14
3.5.1 <i>Cor</i>	14
3.5.2 <i>Aspecto</i>	14
3.5.3 <i>Odor</i>	15
3.5.4 <i>Densidade</i>	15
3.5.5 <i>pH</i>	15
3.6 Características quantitativas e qualitativas da urina humana.....	15
3.7 Características microbiológicas.....	16
3.8 Ciclo de nutrientes.....	18
3.8.1 <i>O nitrogênio</i>	18
3.8.2 <i>O fósforo</i>	19
3.8.3 <i>O potássio</i>	20
3.8.4 <i>Produtos fármacos na urina humana</i>	20
3.9 Utilidade na agricultura.....	21
3.9.1 Utilização da urina para fins agrícolas em diversos países.....	22
3.9.2 Águas amarelas e suas técnicas de tratamento.....	22
3.9.3 Armazenamento da urina humana.....	24
3.9.4 Histórico da precipitação de Estruvita.....	25
3.9.5 Técnica de precipitação da estruvita e hidroxapatita.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Coleta da urina e preparação das águas amarelas (Etapa 1).....	28
4.2 Tratamento das águas amarelas por armazenamento.....	29
4.3 Caracterização da urina humana.....	31

4.3.1 Análises físico químicas.....	31
4.3.2 Análises microbiológicas.....	31
4.4 Coleta e preparação da urina (Etapa 2).....	32
4.5 Ensaio de precipitação da estruvita.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 Análises físico químicas (Etapa1).....	34
a) <i>pH</i>	34
b) <i>Condutividade elétrica</i>	36
c) <i>Temperatura</i>	39
d) <i>Cor aparente</i>	41
e) <i>Turbidez</i>	41
f) <i>Nitrogênio amoniacal</i>	43
g) <i>NTK</i>	47
h) <i>DQO</i>	47
i) <i>Fósforo total</i>	50
j) <i>Oxigênio dissolvido</i>	52
5.2 Análises microbiológicas.....	53
a) <i>Coliformes termotolerantes</i>	53
5.3 Análises físico-químicas (Etapa 2- /1ª e 2ª Faixas de concentrações de MgO- Fase A e Fase B).....	55
a) <i>pH</i>	55
b) <i>Nitrogênio amoniacal</i>	57
c) <i>NTK</i>	58
d) <i>Fósforo total</i>	59
e) <i>Peso do resíduo fixo</i>	60
6. CONCLUSÕES.....	66
7. RECOMENDAÇÕES.....	67
8. REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

As atividades decorrentes do crescimento populacional resultam em um extenso problema sanitário-ambiental, onde o uso indiscriminado dos recursos naturais, poluição, entre outros fatores, agrava ainda mais a disponibilidade dos recursos hídricos, ficando estes afetados tanto na qualidade como na quantidade. Diante deste quadro existe a necessidade de medidas de prevenção e conservação desses recursos, a participação do poder público, incentivando a sociedade através de programas governamentais mostrando a importância da água, e a forma sustentável de utilizá-la.

No âmbito do reuso de águas, as de origem doméstica, segundo Magri et al. (2008), podem ser classificadas em águas cinzas (lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar roupas) e águas negras (pia de cozinha e vaso sanitário), e estas ainda em águas marrons (vaso - fezes) e águas amarelas (vaso - urina). A caracterização destes diferentes tipos de águas residuárias é de fundamental importância para o desenvolvimento de sistemas ecológicos de esgotamento sanitário.

A urina humana é um produto líquido eliminado pelo corpo humano, secretado pelos rins após um processo de filtração do sangue chamado de micção excretada através da uretra (KARAK; BHATTACHARYYA, 2011). A micção é o processo mediante o qual a urina armazenada na bexiga é eliminada, através da uretra, para o exterior do organismo. A quantidade de urina eliminada pelo organismo humano varia muito de um indivíduo para outro, em função da idade, dos hábitos alimentares e das atividades desenvolvidas. Para as mulheres, o valor padrão de 300 a 400 ml, para os homens 400-600 ml (SOUSA et al., 2008).

De acordo com Lind et al. (2001), a urina humana é uma solução aquosa contendo cloreto de sódio (NaCl), ureia [CO(NH₂)₂], potássio (K), cálcio (Ca), sulfato (SO₄²⁻) e fósforo que está disponível como superfosfatos (H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻). Das excretas humanas, a urina contém cerca de 90% do nitrogênio, 50 - 65% do fósforo e 50 - 80% do potássio (HEINONEN-TANSKI; SIJBESMA, 2005). Kirchmann e Pettersson (1995) identificaram tanto os macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) como os micronutrientes (boro, cobre, ferro, cloreto, manganês, molibdênio e zinco), presentes na urina humana.

Os sistemas de separação de urina são eficientes e de grande importância para a recuperação de nutrientes em comparação com os sistemas convencionais (BENGTSSON et al., 1997; HELLSTROM ; KARRMAN, 1997; HELLSTROM et al., 2003). A urina humana coletada nestes sistemas pode também ser utilizada como um fertilizante líquido (KIRCHMANN e PETTERSSON, 1995; KIRCHMANN, 1998; JÖNSSON et al., 2000). Caso suas potencialidades fossem aproveitadas poder-se-ia conseguir uma economia de 36% de energia, a qual deixaria de ser utilizada nas estações de tratamento de esgoto e na produção de fertilizantes, uma redução de até 25% no uso de fertilizantes comerciais e uma redução na emissão de gases NH_3 que contribuem indiretamente para a intensificação do efeito estufa (LIND et al., 2001; JÖNSSON, 2002). Porém a logística que envolve o reuso das águas amarelas compreende a implementação de alguns processos como separação, coleta, armazenamento, transporte e tratamento. Para simplificar e otimizar estes processos a abordagem do esgotamento sanitário ecológico propõe a gestão descentralizada dos esgotos sanitários, capaz de proporcionar a separação, tratamento e reuso *in loco* do efluente, eliminando a etapa de transporte que, na maioria das vezes, onera e inviabiliza seu reuso (GUIMARÃES, 2014).

O armazenamento é a prática mais comum de tratamento da urina humana e pode ser realizada em reservatórios fechados por períodos pré-determinados. Seu objetivo principal é a inativação de patógenos, ocasionalmente presentes na urina, o que ocorre devido ao incremento natural do pH, devido ao processo do período de armazenamento (HOGLUND et al., 1998, 2000, 2002; JOHANSSON, 2001; MANILA et al., 2003; GAJUREL et al., 2007; HEINONEN-TANSKI et al., 2007; ZANCHETA, 2007).

A prática da utilização de águas residuárias tratadas na agricultura, apresenta diversas vantagens, entre elas a economia de água e de fertilizantes minerais, além de evitar a contaminação orgânica e microbiológica do meio ambiente (SANTOS et al., 2006). A sua coleta diretamente na fonte e reaproveitamento para a fertilização de culturas agrícolas pode consistir num método bastante eficaz, uma vez que permite alcançar a sustentabilidade do sistema de esgotamento sanitário e das cidades (OYAMA, 2013).

O custo inicial de implantação do sistema que é relativamente alto, a falta de aceitação e de consciência ambiental, devido à falta de informação das pessoas, além de pesquisas pouco desenvolvidas são algumas desvantagens apresentadas quando se trata da reutilização da urina humana na agricultura.

É neste contexto, que o uso da urina humana pode tornar-se uma alternativa viável, por apresentar um valioso conteúdo de nutrientes necessários para as plantas e sua eficácia na inativação de microrganismos, através da técnica do armazenamento, sendo este destacado neste trabalho. Esta pesquisa está dentro de um projeto maior sobre o tratamento ecológico de águas amarelas, tendo sido já elaboradas as seguintes dissertações: (I) O uso de urina humana como fonte alternativa de nutriente para a cultura do milho (*Zea mays L.*) cultivado em sistema hidropônico (ARAÚJO, 2014); (II) Tratamento de águas amarelas em leitos filtrantes intermitentes (GUIMARÃES, 2014) e (III) Tratamento de águas amarelas em leitos de percolação intermitentes em série (FERREIRA, 2015), além de artigos em congressos e periódicos.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o tratamento de águas amarelas, através da técnica de armazenamento, enfatizando as modificações físico-químicas e o seu efeito sobre contaminantes microbiológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar características físico-químicas e bacteriológicas da urina pura e diluída (águas amarelas) antes do armazenamento;
- Avaliar as características físico-químicas da urina pura e diluída (águas amarelas) ao longo de um período de armazenamento de seis meses;
- Verificar a sobrevivência de indicadores de contaminação fecal durante o período de armazenamento;
- Avaliar a recuperação de fósforo por precipitação

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A escassez de água

Indispensável à vida do homem, a água é essencial para a sobrevivência de agrupamentos humanos, comunidades, coletividades, cidades e nações, que dela dependem para satisfazer as suas necessidades sociais e econômicas.

Segundo a Unicef a irrigação consome 70% da água total utilizada, as indústrias 20% e o consumo doméstico apenas 10% (CETESB, 2006). Onyango (2002) estima que, em 2025, a retirada de água, principalmente para usos domésticos, industriais e de pecuária, terá um aumento de pelo menos 50%. Esse aumento limitará severamente a utilização da água para irrigação, o que acarretará um crescimento da produção de alimentos de apenas 4%. Portanto a conservação hídrica deve ser promovida por meio de programas de gestão adequada da demanda e da educação ambiental, buscando fontes alternativas de suprimento (HESPANHOL, 2008).

De acordo com Varma e Michael (2012) as águas subterrâneas são utilizadas como forma alternativa de abastecimento em todo o mundo. No entanto, o uso dessas, sem controle qualitativo e quantitativo, pode gerar efeitos adversos à população, já que os aquíferos estão sujeitos à contaminação por atividades antrópicas como agricultura (RUY e REIS, 2012) ou descargas de águas residuárias (LOPES et al., 2010). Há também o risco da redução nos níveis dos aquíferos, nos casos em que a vazão retirada seja superior à capacidade de recarga (EISSA et al., 2013).

Dentre as estratégias utilizadas atualmente para reduzir o consumo de água pela população podem ser citadas a medição individualizada de água, a racionalização do uso, a utilização de dispositivos economizadores de água, como as bacias sanitárias com volume de descarga reduzido, os registros de fechamento automático de torneiras, chuveiros e mictórios e a utilização de fontes alternativas de água (ANNECCHINI, 2005).

Dessa forma a diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas apontam para a tendência de um aproveitamento racional desse precioso recurso, com o mínimo de dano ao meio ambiente (HUSSAR et al., 2005). Assim, quando os recursos hídricos tornam-se escassos, as possibilidades de reutilização da água devem ser consideradas (NUVOLARI, 2003; RIOS, 2008).

3.2 Sistemas “descentralizados” de tratamento de esgotos

A expressão “sistema descentralizado de esgotamento sanitário” está associada à ideia de “diversidade”, ou seja, de alternativas. O esgotamento por sistemas descentralizados deve dar enfoque ao conceito de desenvolvimento sustentável, na medida em que tais sistemas promovem concepções locais, mais próximas das pessoas e integradas aos ecossistemas e suas leis. Desse modo, promove-se a participação da sociedade e, também, a produção de conhecimento (LETINGA, 2001).

As principais características e vantagens de um sistema descentralizado apontadas por Philippi et al.(2007), VietAnh et al.(2003), Robinson (2005), Aisse (2000) e Esrey (2001) são:

- Soluções mais adequadas às realidades locais;
- Alternativas altamente viáveis 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 oportunidades de emprego e renda para os profissionais da região que trabalham em projetos, operação e manutenção dos pequenos sistemas de esgotamento sanitário.

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 os produtos “in loco” (VIET ANH et al.,2003). Esse modelo de esgotamento sanitário reduz os impactos ao meio ambiente e à saúde pública, dependendo das

características locais e do tipo de tecnologia adotada; constituindo-se num sistema promissor, diferentemente dos sistemas centralizados, nos quais são utilizadas longas redes de esgotamento com custos inviáveis (ESREY, 2001).

3.3 Esgotamento sanitário ecológico

Segundo Oyama (2013), para a garantia de saúde e de uma boa qualidade de vida das habitações e do seu entorno, é fundamental que sejam mantidas as condições sanitárias básicas, evitando a transmissão e a propagação de doenças. As ações características do setor de saneamento básico são o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo dos resíduos sólidos e a drenagem urbana.

Sistema de esgotamento sanitário é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar os esgotos sanitários a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro (ASMUS, 2009), buscando melhorar as formas que a natureza absorve os dejetos humanos, transformando-os em algo que possa ser reaproveitado por ela. Tem como enfoques principais o aumento da disponibilidade hídrica pela economia de água e a proteção dos recursos hídricos pelo não lançamento de esgoto nos cursos de água, possibilitando a reutilização racional dos nutrientes presentes nas excretas (WINBLAD; SIMPSON-HÉRBERT, 2004). Há também o estímulo ao fluxo cíclico de recursos, energia e materiais a partir de um manejo e gerenciamento ecológico e economicamente sustentável dos sistemas de destinação das excretas, fundamentados nas demandas locais (BOTTO; SANTOS, 2013).

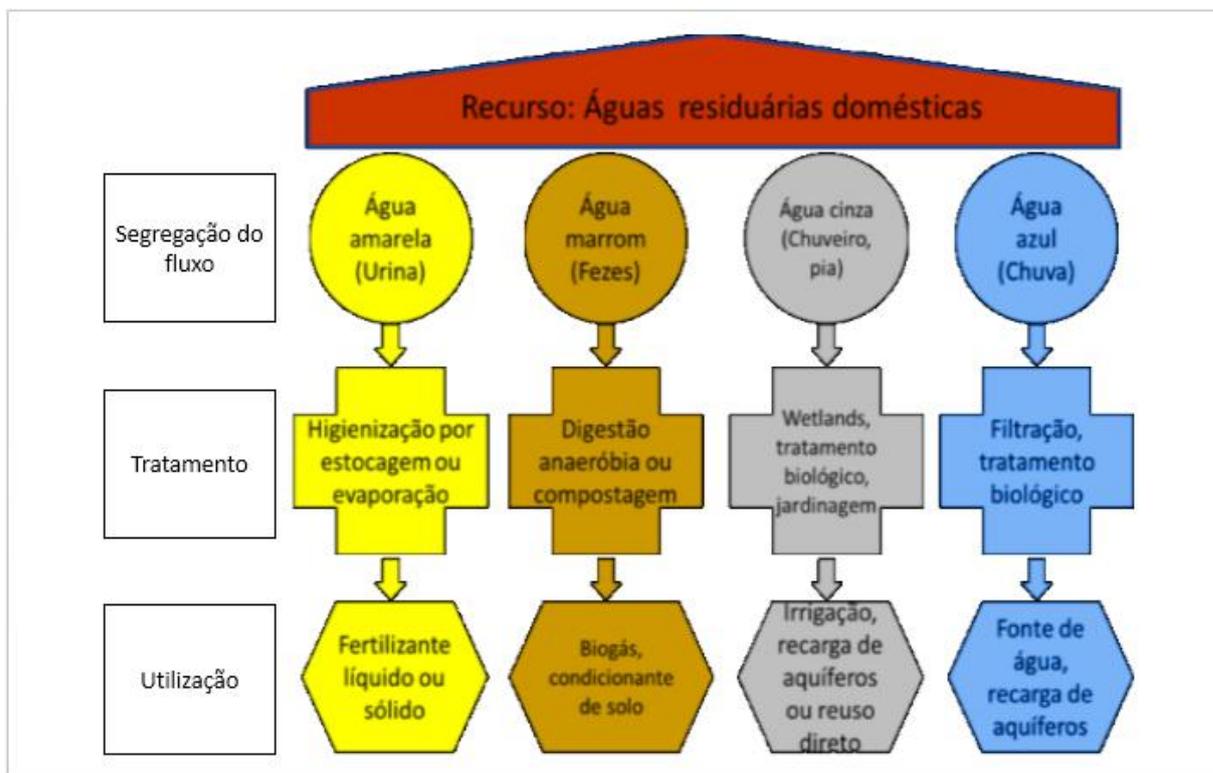
Os sistemas convencionais centralizados, tanto no caso do abastecimento de água como no caso do esgotamento sanitário, utilizados por anos, em países industrializados, implicam em altos custos e elevado consumo de água, os quais não são apropriados como solução sustentável em países em desenvolvimento. Alternativas aos sistemas convencionais estão se tornando cada vez mais indispensáveis por razões ecológicas, econômicas e sociais. Essas novas alternativas devem considerar o reuso da água, bem como a reciclagem dos nutrientes (SASSE, 2005).

O aproveitamento de águas amarelas como fonte de nutrientes se ajusta aos conceitos do esgotamento sanitário ecológico, cujo principal foco é o reuso dos nutrientes presentes na urina, fezes e águas cinza (ASMUS, 2009).

De acordo com Werner et al. (2004), o esgotamento sanitário ecológico:

- Reduz os riscos à saúde relacionados ao esgotamento sanitário, à água e aos resíduos contaminados;
- Previne a poluição das águas superficiais e subterrâneas;
- Previne a degradação da fertilidade do solo;
- Otimiza a gestão dos nutrientes e dos recursos hídricos;
- Melhora a qualidade de vida da população atendida.

Figura 1: Opções de tratamento e utilização dos fluxos separadores de águas residuárias.



Fonte: Adaptado de Werner et al., 2004.

De acordo com Rosenquist (2005), o uso, o entendimento e a aceitação das pessoas, de alternativas sustentáveis do esgotamento sanitário têm representado um grande desafio. Nawab et al.(2006) complementam que, apesar dos diversos pontos positivos do esgotamento sanitário ecológico a implantação deste sistema enfrenta vários desafios no âmbito social e cultural; destacam ainda que entre os fatores mais importantes que levam o homem a evitar as técnicas sustentáveis de disposição das excretas estão a repulsa ou o “nojo” motivado pelas excretas, o risco à saúde provocado pelo reuso.

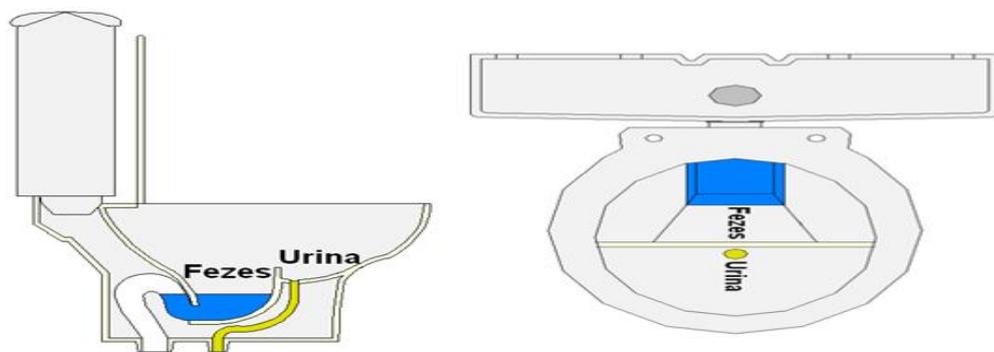
3.4 Sistemas separadores de urina

Recentemente, uma nova abordagem com relação ao uso das excretas humanas vem surgindo, principalmente na Europa, e, mais especificamente em países como Suécia e Dinamarca. A recomendação é que fezes e urina sejam utilizadas como fertilizantes ou complemento nas mais variadas culturas agrícolas, respeitando as suas características diferentes em termos de patogenicidade, conteúdo de nutrientes e benefícios a solo e plantas (GONÇALVES, 2006).

A Suécia é um dos países pioneiros na produção de sistemas separadores de urina. Essas técnicas começaram a ser desenvolvidas há mais de 30 anos e na década de 1990 foi construído o primeiro sistema separador de urina de porcelana. Em 1995 foram concluídas as eco-vilas, onde todas as casas possuíam sistemas separadores, com o intuito de facilitar o tratamento, reduzindo a quantidade de água que é desperdiçada com a descarga.

Um dos dispositivos separadores utilizados é o vaso sanitário compartimentado conforme a Figura 2. Difere dos comuns, por possuir duas bacias, uma na dianteira para urina e outra na parte de trás para fezes (JOHANSSON, 2000).

Figura 2: Modelo de vaso sanitário compartimentado



Fonte: JOHANSSON, 2000.

As técnicas de separação da urina, já são utilizadas, há muitos anos, em diferentes partes do mundo (JOHANSSON, 2000). Outro aspecto de grande importância é a economia de água potável e de energia, resultante do gerenciamento alternativo das águas amarelas. Segundo relatado por Gonçalves et al. (2009), considerando-se que uma pessoa urina, em média, quatro vezes por dia, e que, por isso, utiliza-se em torno de quatro descargas de água da bacia sanitária para o afastamento da urina, o que corresponde ao dispêndio diário de água potável de pelo menos 24 L por pessoa, caso se utilizem descargas reduzidas de 6 litros. Isso equivale a cerca de 1/6 do consumo per capita de água potável, que pode ser preservado

mediante a coleta da urina em um dispositivo separador, sem o uso de água para diluição e afastamento. Portanto, a utilização, nas edificações, de mictórios ou de vasos sanitários com dispositivos de separação urina/fezes pode resultar na economia de significativa quantidade de água potável e diminuição do consumo de energia para o tratamento de efluentes, uma vez que, diminuindo a carga de nitrogênio na água, reduzem-se concomitantemente os custos de tratamento e o potencial de eutrofização do corpo receptor deste efluente. Na Tabela 1, são apresentadas as principais características dos constituintes do esgoto sanitário.

Tabela1: Características dos principais constituintes do esgoto sanitário

Fração	Características
Fezes	<ul style="list-style-type: none"> - crítico do ponto de vista higiênico; - melhora a qualidade do solo e aumenta a sua retenção de água; - produção média de 50 kg/pessoa.ano; - consiste principalmente de material orgânico submetido a processos de decomposição e pequenas proporções de nutrientes.
Urina	<ul style="list-style-type: none"> - não crítica do ponto de vista higiênico; - contém as maiores proporções de nutrientes disponíveis para as plantas; - pode conter hormônios e resíduos de medicamentos - produção média de 500 L/pessoa.ano - consiste principalmente de nutrientes e pouca matéria orgânica.
Água cinza	<ul style="list-style-type: none"> - não apresenta maiores preocupações do ponto de vista higiênico; - volumetricamente, é a maior porção do esgoto; - quase não contém nutrientes, podendo passar por tratamento simplificado; - pode conter sabão em pó; - produção média de 25-100 mil L/pessoa.ano

Fonte: GONÇALVES et al.,2009.

De acordo com Johansson (2002), se toda a urina produzida fosse coletada em separado, cerca de 80 a 85% das emissões de compostos de nitrogênio e 50% de compostos de fósforo deixariam de contaminar e comprometer a qualidade dos corpos de água. Para Johansson (2001) não há novidade na coleta segregada de urina, pois sua prática remonta a milhares de anos em diferentes partes do mundo. Em algumas regiões da China, por exemplo, a urina e as fezes são coletadas separadamente através do uso de bacias sanitárias, para uso como fertilizante na própria propriedade.

3.5 Características gerais da urina

Algumas características da urina humana geralmente podem ser analisadas através de ensaios laboratoriais, Lopes (2004) mostra em seu manual algumas características da urina:

3.5.1 Cor

Normalmente, a urina tem uma cor amarelada, resultante da excreção de três pigmentos. O urocromo (amarelo), a uroeritrina (vermelho) e a urobilina (laranja) são pigmentos originados no metabolismo normal do organismo. A intensidade da cor da urina está relacionada com a concentração da amostra. A coloração da urina indica, de certa forma, a concentração urinária e o grau de hidratação da pessoa. Alguns corantes alimentares utilizados em doces, medicamentos e diversos alimentos, podem colorir a urina de cores diversas (vermelha, verde, etc).

3.5.2 Aspecto

Normalmente, a urina tem um aspecto claro e transparente logo após a sua liberação. Com o passar do tempo, ela tende a se apresentar turva pela presença de muco e precipitação de cristais amorfos (fosfatos e uratos). Bactérias, piócitos, hemácias, e cristais diversos podem ocasionar turbidez na urina. Os termos gerais para caracterizar o aspecto normal da urina são: transparente, opaca ou turva.

3.5.3 Odor

O odor normal da urina é característico e ocasionado pela presença de ácidos aromáticos voláteis. Com o envelhecimento, a urina adquire um odor forte de amoníaco pela transformação bacteriana da ureia em amônia. Infecções do trato urinário tornam o odor da urina pútrido. A urina contendo corpos cetônicos tem um odor de acetona ou de frutas.

3.5.4 Densidade

A densidade normal da urina varia entre 1,008 kg/L e 1,030 kg/L (DIOGO et al., 2000). Como ela varia com o volume urinário e com a quantidade de solutos excretados, principalmente cloreto de sódio e ureia, pode ser considerada um bom indicador do estado de hidratação/desidratação do indivíduo. Alterações no valor da densidade da urina podem ser encontradas em:

- densidade alta pela presença de glicose;

- densidade baixa pela excreção de grandes volumes urinários;
- densidade baixa pela perda da capacidade de concentração urinária.

3.5.5 pH

A urina recém liberada tem um pH normal próximo de 6. Este valor tende a aumentar pela ação das bactérias sobre a uréia, formando amônia. O pH urinário reflete a capacidade dos rins em manter a concentração dos íons hidrogênio no plasma e nos líquidos extracelulares. No metabolismo normal, há a formação de ácidos não voláteis (ácido sulfúrico, fosfórico, clorídrico, pirúvico, láctico, cítrico, corpos cetônicos) que serão excretados pelos rins com cátions, sendo o mais importante o sódio. O bicarbonato é reabsorvido e as células tubulares trocam íons hidrogênio por sódio do filtrado glomerular (primeira etapa na formação da urina) e através dessa reação, a urina se torna ácida.

3.6 Características quantitativas e qualitativas da urina

A concentração de urina nas águas amarelas depende tanto da quantidade de água de diluição quanto da quantidade excretada por cada indivíduo que, por sua vez, varia de pessoa para pessoa, de região para região, dependendo de seus hábitos alimentares, da quantidade de água potável consumida, atividades físicas, tamanho corporal e fatores ambientais (KARAK; BHATTACHARYYA, 2010). O volume médio diário de urina por pessoa adulta é em torno de 1,5L, distribuídos em cerca de 7 micções (VINNERÅS et al., 2006). Já Zancheta (2007) constatou, em seu estudo, o valor médio de 1,23L/dia e uma frequência de micção de até 8 vezes. Valores muito próximos também foram obtidos por Bazzarella et al. (2005), Raunch et al. (2003), Fittscher; Hermann (1998) e Rios (2008), com volumes médios entre 1,25 L e 1,46 L.

Segundo Rios (2008) a urina é uma solução aquosa complexa contendo concentrações de sais e nutrientes (Tabela 2). O cloreto de sódio (NaCl) e a ureia [CO(NH₂)₂] são os principais deles. Em torno de 80% do nitrogênio total da urina, está na forma de nitrogênio orgânico (ureia) e o restante está na forma de nitrogênio inorgânico (amônia). Além da ureia e do cloreto de sódio a urina é constituída de potássio (K), cálcio (Ca), sulfatos (SO₄²⁻), e fósforo (P). O fósforo é disponível como fosfato (H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻) e o potássio como um componente iônico (K⁺) (LIND et al., 2001).

Diariamente, cada ser humano saudável produz as excretas que contêm os elementos químicos que são necessários e podem ser usados como fertilizantes para plantas, cultivos alimentícios, ervas medicinais, plantas ornamentais, fibras naturais e outras vegetações (HEINONEN-TANSKI et al., 2005).

Tabela 2- Nutrientes disponíveis na urina humana

Constituição mineral	Forma disponível
Cloreto de sódio	NaCl
Ureia	CO(NH ₂) ₂
Potássio	K ⁺
Cálcio	Ca ²⁺
Sulfatos	SO ₄ ⁻
Superfosfatos	H ₂ PO ₄ – ou HPO ₄ ²⁻

Fonte: LIND et al., 2001.

3.7 Características microbiológicas

Alguns tipos de bactérias podem causar infecções do trato urinário, porém a transmissão ambiental destes é geralmente de baixa probabilidade. *E. coli* é a causa mais comum das infecções do trato urinário (SCHÖNNING; STENSTRÖM, 2004).

Os patógenos tradicionalmente conhecidos que são excretados na urina são *Leptospira interrogans*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* e *Schistosoma haematobium*. Existe uma variedade de outros patógenos que podem ser detectados na urina, conforme Tabela 3, mas sua presença pode ser considerada insignificante para o risco da transmissão ambiental de doenças (SCHÖNNING; STENSTRÖM, 2004).

Tabela 3: Patógenos que podem ser excretados na urina e importância da urina como meio de transmissão para o ambiente.

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 os humanos através da água doce.	É necessário considerar em áreas endêmicas onde água doce é disponível

Mycobacteria	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 informação.	Provavelmente baixo
Microsporidia	Sugerido, mas não reconhecido	Baixo
Causadores de doenças venéreas	Não sobrevivem durante períodos significativos fora do corpo.	-
Infecções do trato urinário	Não há uma transmissão ambiental direta.	Baixo

Fonte: SCHÖNNING;STENSTRÖM, 2004.

Quando os patógenos entéricos entram em contato com a urina, podem ocorrer riscos à saúde, sendo de fundamental importância o tratamento antes do reuso.

Para determinar a duração e as condições suficientes para o armazenamento da urina, antes do seu uso como fertilizante, é necessário estimar a sobrevivência de vários microrganismos na urina em função do tempo. O principal risco de transmissão de doenças pelo uso e manejo de urina humana está relacionado com a contaminação cruzada, ou seja, contato da urina com as fezes (SCHÖNNING; STENSTRÖM, 2004).

Na literatura, há alguma controvérsia sobre o tempo de armazenamento para a redução da contaminação da urina. Segundo Esrey (1998), armazenar urina sem diluição por um mês renderá uma urina segura para o uso na agricultura. A urina pode ser facilmente desinfetada por armazenamento (SCHONNING et al., 2002). Porém, segundo Beal et al. (2007), as principais pesquisas no assunto apontam uma eficiente inativação destes em condições adequadas de armazenamento com um tempo superior a 6 meses.

3.8 Ciclo de nutrientes

Alguns elementos químicos como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), circulam continuamente em ciclos biogeoquímicos naturais e podem constituir uma fonte de fornecimento de nutrientes ao solo. Entretanto, para que esses nutrientes possam ser aproveitados como insumos nas práticas agrícolas, devem estar presentes na forma e na proporção em que podem ser absorvidos pelo solo e pelas plantas. Grandes quantidades desses nutrientes, principalmente de nitrogênio, podem ser encontradas nas excretas humanas que, quando coletadas separadamente (fezes e urina) e após serem submetidas a tratamento,

permitem a recuperação segura dos nutrientes (OYAMA, 2013). Os principais nutrientes encontrados na urina e que são compatíveis ao uso na agricultura são:

3.8.1 Nitrogênio

O nitrogênio é um macronutriente que representa um dos fatores limitantes do crescimento dos vegetais e se torna, assim, um dos principais componentes dos fertilizantes utilizados na agricultura. Desempenha ainda um importante papel na constituição das moléculas de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas e hormônios, elementos estes considerados vitais aos seres vivos.

Em relação à sua constituição, pode se considerar que a matéria seca dos vegetais é composta de 1 a 6% de nitrogênio (AGUILAR, 2011). A necessidade desse elemento é maior durante o crescimento da planta e quando as proteínas das folhas e sementes se desenvolvem (ROSOLEM et al., 2012).

De acordo com Heinonen-Tanski e Wijk-Sijbesma (2003), no ambiente natural, cerca de 79% de nitrogênio podem ser encontrados livres na atmosfera. O ciclo do nitrogênio pode ser considerado um ciclo gasoso, no qual o elemento é submetido a uma série de conversões que o transformam do estado mineral à proteína vegetal e animal, encerrando o ciclo na forma de matéria orgânica morta. Novamente mineralizado, fica retido na biosfera, em média, por mais de quatro mil anos (GONÇALVES et al., 2009), até se iniciar um novo ciclo.

As principais rotas de excreção do nitrogênio do corpo humano são a urina e as fezes. O corpo humano retém apenas 10 % do nitrogênio ingerido na forma de proteínas, sendo 80% eliminados na urina e 10 % nas fezes (KIPERSTOK, 2010).

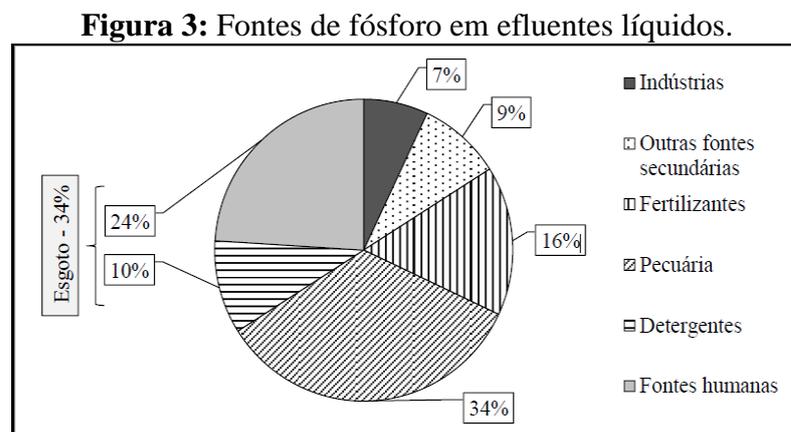
3.8.2 Fósforo

O fósforo é um recurso limitado e não ocorre na forma gasosa, exceto em alguns compostos artificiais. Consequentemente, seu transporte não pode ser feito pelo movimento de ar, mas apenas no estado líquido ou sólido, o que ocorre de forma muito mais lenta (GONÇALVES et al., 2009). Enquanto outros elementos estão presentes no corpo humano em concentrações muito inferiores às que ocorrem na crosta terrestre, o fósforo se concentra em uma proporção dez vezes superior nos tecidos animais e vegetais, em moléculas estratégicas para as funções biológicas como a adenosina trifosfato (ATP) e o ácido desoxirribonucleico

(DNA). Segundo ainda os autores, a falta desse nutriente limita a capacidade dos organismos utilizarem outros recursos, tais como energia solar e água, ainda que estes existam em profusão. “Nos solos agrícolas a reposição do fósforo ocorre mediante a exploração de reservas fósseis e, se mantida a taxa de utilização atual, estima-se que as referidas reservas devam durar de 60 a 130 anos”.

Em relação ao ciclo antrópico do fósforo, um dos impactos ocasionados pelo lançamento de fósforo em excesso nos cursos de água é a ocorrência de florescimentos (blooms) de algas, reduzindo a penetração de luz e afetando o desenvolvimento dos organismos aeróbios (BRAGA et al., 2005).

Segundo Rahman et al. (2014), as concentrações de fósforo em efluentes líquidos são oriundas das fontes ilustradas na Figura 3.



Fonte: RAHMAN et al.2014.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), o teor de fósforo não é um padrão de emissão. Porém, esse parâmetro é considerado no enquadramento de corpos d'água, de forma que qualquer lançamento de efluente não poderá resultar em um aumento na sua concentração para além do limite da classe na qual o corpo receptor se enquadra. Além disso, o Artigo 17 da referida resolução estabelece que o órgão ambiental poderá definir padrões específicos para o parâmetro fósforo no caso de lançamento de efluentes em corpos receptores com registro histórico de floração de cianobactérias, em trecho onde ocorra a captação para o abastecimento público.

3.8.3 Potássio

O potássio é um nutriente de grande importância para a agricultura brasileira, principalmente pelas características dos solos que apresentam carência desse nutriente (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004). Segundo Braga (2013), uma função importante do potássio dentro da planta está relacionada às reações enzimáticas, uma vez que para que as enzimas da planta entrem em atividade, necessitam de ativadores; um destes ativadores é o potássio, nutriente que pode se mover livremente no interior do vegetal. Esse nutriente, de acordo com Braga et al.(2005), está intimamente ligado à fotossíntese e à produção de carboidratos na planta.

O nutriente, na natureza, é comumente encontrado em minerais e rochas. “O ortoclásio (KAlSi_3O_8), por exemplo, é um componente habitual de muitas rochas e apresenta em média 17% de potássio”; rochas ígneas, como os granitos, os sienitos e rochas sedimentares, apresentam, também, teores elevados de potássio.

De acordo com Nascimento e Loureiro (2004), os melhores minerais fornecedores de potássio disponível para a planta, seriam a silvita, o cloreto de potássio (KCl) e a carnalita, cloreto de potássio e magnésio hidratado ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

3.8.4 Produtos fármacos na urina humana

Os produtos fármacos na urina humana não foram considerados nesta pesquisa, porém, o impacto ambiental de produtos farmacêuticos consumidos e seus efeitos sobre os seres humanos, animais e microrganismos é fortemente debatida. A resistência aos antibióticos e presença de hormônios são questões que provavelmente estão relacionadas ao esgoto.

Os riscos relacionados aos fármacos é um aspecto de saúde pública; no entanto, esta área precisa ser investigada, não só em relação ao reuso de urina, mas em relação a todos os tipos de sistemas de águas residuais e resíduos de produtos.

3.9 Utilidade na agricultura

Segundo Rebouças (2003), a agricultura está na dianteira no consumo de água, mas esse uso ocorre de forma ineficiente, com um desperdício estimado em cerca de 70% de toda a água fornecida a esse setor.

A crescente demanda por alimentos e a tendência de escassez, sobretudo de nutrientes fosfatados, intensificam a busca de modelos sanitária e ambientalmente seguros para a utilização da urina humana como fertilizante agrícola (ANTONINI et al., 2012).

A urina humana, além de ser usada como fertilizante natural, também é usada como ativador de compostagem; o processo mais conhecido como organoponia ou urinoponia, é uma técnica de cultivo de hortícolas que reúne a hidroponia como uso de substrato orgânico (TANSKI et al., 2003). Esse sistema de cultivo é muito eficiente em termos de custo, economizando dinheiro e água. A urina é fermentada adicionando-se uma colher cheia de terra preta, composto ou húmus de minhoca por litro. Deixa-se a mistura descansando por quatro semanas (ECOSANRES, 2006). O processo estará completo quando o cheiro de amônia se tornar bem forte e a cor mudar de amarelo claro para marrom escuro. O modo de aplicação da urina fermentada ocorre em dois processos (ECOSANRES, 2006):

- **Organopônico:** primeiramente o fermento é diluído em água na proporção de 1:10 (1 parte de fermento para 10 partes de água), resultando em 30 litros de fermento diluído. Um quarto de litro dele é então aplicado três vezes por semana.
- **Diretamente no solo:** o fermento é aplicado combinado com a água de irrigação e/ou com a água da chuva, em doses que ainda estão sendo testadas para os diversos cultivos.

Ativador da compostagem: conforme a urina fermenta, aumenta a sua população de actinomicetos, que são microrganismos especializados em degradar a lignina e a celulose.

Por essa razão, a urina fermentada pode ser usada em uma dose de 5 a 20 litros por m³ de materiais ricos em carbono, para substituir e/ou complementar outros tipos de estrume (Wieland, 2006).

A urina humana tem sido usada, desde os tempos antigos, para aumentar o crescimento de plantas, mas Kirchmanne Pettersson (1995) foram os primeiros a utiliza-la como fertilizante em experimentos científicos em diversos graus para a fertilização de diferentes culturas.

3.9.1 Utilização da urina para fins agrícolas em diversos países

Quanto à regulamentação do uso de excretas na agricultura, pouquíssimos países avançaram nesse sentido. A Suécia dispõe de uma legislação específica para a utilização da

urina coletada em conjuntos habitacionais, que determina o tempo e a temperatura de estocagem da urina, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro1: Legislação sueca proposta em relação ao uso da urina na agricultura

Temperatura de estocagem (°C)	Tempo de estocagem (mês)	Cultivos permitidos
4	1	Cultivos alimentícios que serão processados
4	6	Cultivos alimentícios que serão processados e cultivos de forragem
20	1	Cultivos alimentícios que serão processados e cultivos de forragem
20	6	Todos os cultivos alimentícios e os cultivos de forragem, áreas de parque
—	12	Todos os cultivos alimentícios e os cultivos de forragem, áreas de parque

Fonte: SHÖNNING, 2004

Embora diversas técnicas estejam sendo pesquisadas, a do armazenamento da urina em recipiente fechado é a que já está sendo utilizada em diversos países (ZANCHETA,2007; BAZZARELLA et al.,2005; BOTTO,2013,HOGLUND et al., 2002; VINNERAS et al.,2008; MAURER et al.,2006).

3.9.2 Águas amarelas e suas técnicas de tratamento

São denominadas águas amarelas as águas residuárias geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separadores para coleta de urina, ou seja, a urina é componente deste resíduo líquido, além da própria água utilizada no aparelho sanitário para o transporte desta excreta para a rede coletora (CONSTAZI et al., 2010).

As propriedades únicas das águas amarelas permitem que uma grande variedade de tecnologias possa ser usada para o tratamento. De acordo com Maurer et al. (2006), sete principais objetivos de uma unidade de tratamento podem ser definidos: redução de volume, recuperação de fósforo, recuperação de nitrogênio, estabilização, higienização, remoção de micropoluentes e remoção biológica de nutrientes. Nesta perspectiva várias tecnologias têm sido estudadas, dentre as quais podem ser citados armazenamento, acidificação, alcalinização, evaporação, congelamento, micro e ultrafiltração, osmose reversa, aplicação de zeólitos, aplicação de carvão ativado, precipitação de estruvita, volatilização de amônia e destilação.

- **Técnica de armazenamento da urina em recipiente fechado** - Diversas pesquisas apontam para a eliminação da presença de bactérias patogênicas apenas com

armazenamento superior a 30 dias. Este processo ocorre em função da elevação do pH, que ocorre com a hidrólise da ureia sob a ação da enzima urease. Para evitar a perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, o armazenamento deve ser em recipiente fechado (KIPERSTOK, 2010).

- **Técnica de evaporação da urina humana** - A evaporação da urina visa à redução de volume e concentração de nutrientes, de modo a facilitar o transporte e armazenamento. Pesquisas brasileiras mostraram que é possível evaporar a urina utilizando a energia solar como única fonte de calor, havendo a necessidade de adicionar ácido sulfúrico para evitar a perda de amônia por volatilização. Os resultados evidenciaram uma redução de aproximadamente 95% de volume e altas concentrações de nutrientes(ZANCHETA, 2007).
- **Técnica de precipitação de estruvita** – Esta técnica visa à concentração dos nutrientes da urina na forma de cristais e é realizada adicionando-se óxido de magnésio à urina fresca ou armazenada, podendo ser tanto urina pura, como urina diluída. Em pesquisas brasileiras (CARDINALI, 2009) foi conseguida uma remoção média de fósforo de 99,2% utilizando-se uma dosagem de 0,30g MgO/L.
- **Técnica de congelamento-descongelamento** - Esta técnica visa à concentração de nutrientes da urina em um volume reduzido de líquido. Em pesquisas realizadas na Estação Brasileira na Antártida (REBOUÇAS, 2009), a urina previamente armazenada por 6 meses foi congelada a -22°C durante 10 horas e depois foi descongelada gota a gota, resultados mostraram um rendimento satisfatório, no qual ocorreu altas concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Em outra pesquisa realizada no Parque Experimental da Estação de Tratamento de Esgoto da UFES, na técnica de congelamento-descongelamento, a urina foi previamente caracterizada qualitativamente com parâmetros físico-químicos e biológicos. Após a caracterização foram colocados 100 mL de urina fresca em uma garrafa PET de 250 mL que, em seguida, foi congelada a uma temperatura de -22°C por um período de 24h. Após esse período, a urina foi descongelada em temperatura ambiente, recolhidas dez frações de 10 mL. O tempo de descongelamento foi medido para cada fração coletada. Ao final do processo de descongelamento os resultados obtidos mostraram-se eficazes na concentração de íons na fase líquida durante a fusão, visto que houve a concentração de 70% dos nutrientes em 30% do volume inicial, valores próximos aos de Lind et al. (2001) também em ensaios com urina humana, que foi de 80% dos nutrientes em 25%

do volume. A técnica de congelamento permite ainda reduzir o volume de urina a ser armazenada facilitando assim a guarda, o manejo e o transporte – na medida do possível - até áreas de produção de alimentos (GONÇALVES et al.,2008).

3.9.3 Armazenamento da urina humana

O armazenamento é a técnica mais utilizada e difundida para o tratamento da urina, por ser extremamente simples e não necessitar de grandes insumos, apesar do investimento inicial na construção de tanques (BOTTO et al., 2012). É a parte fundamental, antes de sua aplicação na área agrícola, sendo as perdas de nitrogênio durante o armazenamento minimizadas pela redução da temperatura e pelo menor arejamento sobre a superfície do líquido em tanques de armazenamento. Mas, pH e temperatura elevados, concentração da urina (concentração alta de nitrogênio) e longos períodos de armazenamento são favoráveis por razões de higiene (HOGLUND et al.,2002; VINNERAS et al.,2008; MAURER et al., (2006). Esses autores afirmam que o período de armazenamento da urina humana a partir de 6 meses, a 20 °C ou mais, é seguro para uso, sem restrições, no que diz respeito a agentes patogênicos.

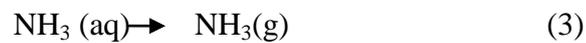
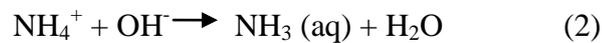
Durante a separação, armazenamento e transporte, a urina é sujeita a vários processos tais como hidrólise espontânea da ureia, volatilização e precipitação, que alteram a composição da urina de forma significativa. De acordo com Udert et al. (2003), durante o armazenamento, a liberação de amônia causa um importante aumento do pH da urina, podendo ocasionar precipitação de cristais inorgânicos como estruvita, calcita e hidroxiapatita. Ocorre também a inativação de microrganismos, sobretudo, quando o pH atinge valores superiores a 8,5, o que depende da temperatura ambiente e pode ocorrer em poucas semanas.

Pesquisas realizadas na Suécia indicam que a maioria do nitrogênio, que na urina fresca se encontra na forma de ureia, é rapidamente convertida em amônia durante a coleta e armazenagem, o que pode gerar perdas de nitrogênio para o ar (ZANCHETA, 2007; ASMUS, 2009). Entretanto, esse fator pode ser minimizado pela armazenagem em reservatório fechado, com ventilação restrita (ESREY, 1998). Johansson (2001) utilizou essa técnica, sendo a urina coletada em vilas-ecológicas e transportada para o campo, onde era armazenada em tanques hermeticamente fechados sem reposição de urina nova por seis meses e, em seguida, aplicada em cultivos na mesma fazenda onde estava armazenada.

Como já citado, a principal reação química (Equação 1) que ocorre durante o armazenamento é a hidrólise da ureia (nitrogênio orgânico), catalisada pela enzima urease. Os produtos finais desta reação são nitrogênio amoniacal (amônio e amônio) e bicarbonato, que contribuem para o aumento do pH da solução, ocorrendo assim a precipitação dos cristais de estruvita e de hidroxiapatita (UDERT et al., 2003).



Os íons amônio ficam em equilíbrio com a amônia na fase aquosa e esta, por sua vez, entra em equilíbrio com a amônia na fase gasosa, de acordo com as reações representadas nas Equações 2 e 3:



3.9.4. Histórico da precipitação de estruvita

A estruvita é um mineral que foi encontrado, pela primeira vez, embaixo da igreja de St. Nicolai, Hamburgo, na Alemanha, e é, costumeiramente, observado em cavernas de guano de pássaros e morcegos, em deposições superficiais. É um mineral que já foi estudado por diversos campos da ciência, especialmente a nefrologia e a veterinária, devido ao grande potencial de formação, a partir da urina, de cálculos renais (EISNER; DESHMUKH; LANGE, 2014).

Enquanto a preocupação cresce sobre a gestão de nutrientes em águas residuárias e dejetos da pecuária, pesquisas sobre a aplicação da precipitação controlada de estruvita aumentaram em todo o mundo, com destaques para países como Canadá, Holanda, Austrália e Japão, que já possuem vários estudos concluídos (NYSERDA, 2006).

Apesar de possuir um grande potencial, o Brasil ainda apresenta, de forma muito discreta, estudos envolvendo a remoção de nutrientes pela precipitação de estruvita e, somente a partir dos últimos anos, o país tem realizado contribuições no cenário internacional.

Moreira (2009) realizou um dos primeiros estudos brasileiros com foco na busca de fontes alternativas de reagentes na precipitação de estruvita, tendo em vista a redução de custos do processo; avaliou o custo operacional e econômico para a utilização de resíduos industriais, como fontes de fosfato e magnésio, na obtenção de estruvita, a partir de lixiviados de aterros sanitários em escala real.

De forma geral, avaliando os estudos brasileiros, observa-se um padrão: todos são desenvolvidos em escala laboratorial, utilizando sistemas controlados em aparelhos *jar-test*, tendo como foco principal a seleção de condições ótimas de operação da tecnologia de precipitação em situações específicas; ainda há uma grande demanda de conhecimento a ser desenvolvido nessa linha de pesquisa dentro da realidade brasileira (CASTRO,2014).

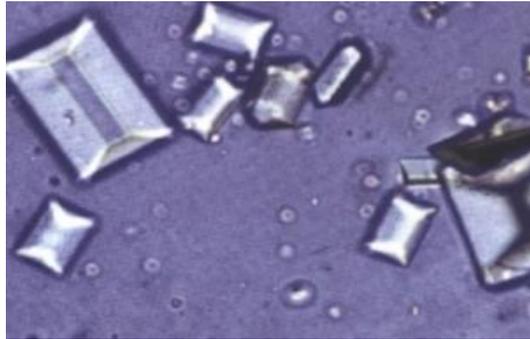
3.9.5 Técnica de precipitação de estruvita e hidroxiapatita

A precipitação se encontra no âmbito de uma série de tecnologias de tratamentos físico-químicos e que permitem a adequação de parâmetros ambientais de efluentes, explorando tanto propriedades físicas, quanto químicas das espécies envolvidas. É a mais antiga tecnologia de remoção/recuperação de nutrientes ainda aplicada atualmente, isso devido à sua simplicidade e capacidade na remoção de substâncias, tais como fósforo (CASTRO,2014). Esta tem sido empregada no tratamento de água bruta e no tratamento das mais diversas tipologias de águas residuárias. É uma técnica que pode ser simplificada definida como o emprego de produtos químicos para a remoção das substâncias dissolvidas e em suspensão por meio de uma reação química, em que o precipitado formado pode ser removido por sedimentação (DEZOTTI, 2008).

Esta técnica visa à concentração dos nutrientes da urina na forma de cristais e é realizada também adicionando-se óxido de magnésio na urina armazenada ou na urina fresca (KIPERSTOK, 2010), sendo uma das etapas desse trabalho.

A estruvita (fosfato de amônio e magnésio hexahidratado) é uma substância cristalina (Figura 4) branca, com relação molar de 1 (P): 1 (N): 1 (Mg). Possui baixa solubilidade em água, é altamente solúvel em soluções ácidas e altamente insolúvel em soluções básicas, ocorrendo sua precipitação em pH em torno de 9,0.

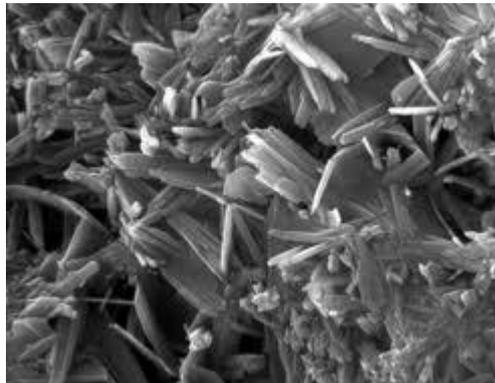
Figura 4: Cristais de estruvita



Fonte: LIND et al. 2000

A hidroxiapatita [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$], fosfato de cálcio hidratado, substância cristalina (Figura 5) constituída de três elementos químicos principais, que são cálcio, fósforo e oxigênio, precipita em solução supersaturada e em pH básico, possuindo, no entanto, alta constante de solubilidade (TANSKI et al., 2003).

Figura 5: Cristais de hidroxiapatita



Fonte: VILA et al. 2012

Como a urina humana é a maior fonte de nutrientes do esgoto, se toda a urina fosse reutilizada, além de não haver precipitação de cristais de estruvita e hidroxiapatita nas tubulações, todo esse precipitado formado seria utilizado como fertilizante nas lavouras, substituindo fertilizantes químicos, pois parte da demanda de nutrientes poderia ser suprida por ela (ZANCHETA, 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus I, cidade de Campina Grande (7° 13' 50" Sul, 35° 52' 52" Oeste, 551 m acima do nível médio do mar), estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.

Sendo realizada em duas etapas, a etapa 1 com o tratamento das águas amarelas através do armazenamento e a etapa 2 com a precipitação de estruvita adicionando MgO em diferentes concentrações.

Etapa 1

4.1 Coleta da urina e preparação de águas amarelas

A urina foi coletada em residências no município de Esperança - PB, tendo sido distribuídos frascos de 1000 mL (Figura 6), para os colaboradores, no dia 9 de novembro de 2014, às 9 horas da manhã e recolhidos no dia 10 de novembro de 2014, ou seja, o período de coleta foi de 24 horas, sendo obtidos 30 litros de urina; esse volume foi homogeneizado e encaminhado para o armazenamento no Laboratório de Saneamento da UFCG, sendo, em seguida, realizada a caracterização da urina.

Figura 6: Frascos utilizados para a coleta de urina



4.2 Tratamento das águas amarelas por armazenamento

Para a adequação das unidades de armazenamento de urina foram utilizados recipientes de plástico com tampa (CT) e sem tampa (ST) (Figura 7), aos quais foram adaptadas torneiras para facilitar a coleta de amostras para análises. Os recipientes utilizados foram quatro, dois com tampa, utilizando-se também uma tampa interna, de isopor, para não haver contato com o ar e dois recipientes sem tampa, ou seja, em total contato com o ar.

Figura 7: Recipientes de armazenamento da urina



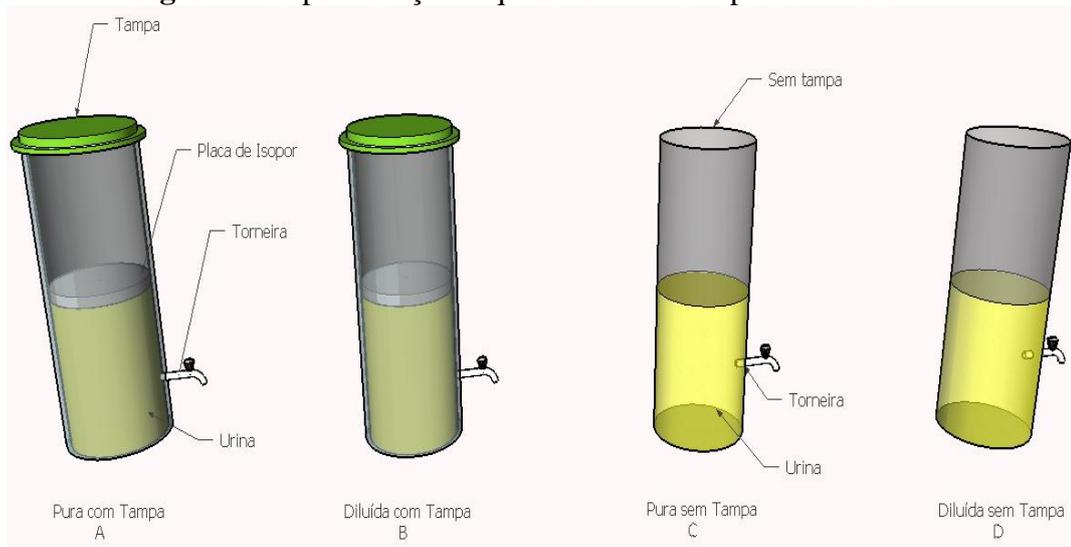
Estes recipientes foram denominados da seguinte forma:

PCT-1 recipiente contendo urina pura e com tampa;

DCT-1 recipiente contendo urina diluída com água de torneira e com tampa;

PST-1 recipiente contendo urina pura e sem tampa;

DST-1 recipiente contendo urina diluída com água de torneira e sem tampa.

Figura 8: Representação esquemática dos recipientes utilizados

A preparação das águas amarelas foi realizada com base na diluição (7%) típica em descargas de mictórios. Os volumes de urina e de água nos recipientes foram os seguintes:

PCT- 13 litros de urina pura;

DCT- 900 mL de urina pura + 12,1 L de água de torneira;

PST- 13 litros de urina pura;

DST- 900 mL de urina pura + 12,1 L de água de torneira.

Durante o armazenamento foram realizadas, semanalmente, análises das variáveis físico-químicas e microbiológicas nas amostras coletadas. Os dados obtidos ao longo do período de armazenamento foram analisados através das análises estatísticas descritiva e de variância e discutidos com base na revisão de literatura pertinente.

As variáveis investigadas nesta pesquisa estão relacionadas no Quadro 2.

Quadro 2: Variáveis físico-químicas e bacteriológica analisadas

Variável	Unidade	Método
DQO	mg/L	Refluxação fechada de dicromato de potássio
pH	-	Eletrométrico
Turbidez	UT	Nefelométrico
Temperatura	°C	Termômetro de filamento de mercúrio
Cor	UH	Colorimétrico

Condutividade elétrica	mS/cm	Potenciométrico
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	Semi-microkjeldahl
Nitrogênio amoniacal	mg N/L	Titulométrico após destilação
Fósforo total	mg P/L	Fotométrico do ácido ascórbico
Oxigênio dissolvido	mg/L	Eletrodo de membrana
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	Membrana filtrante

4.3 Caracterização da urina humana

4.3.1 Análises físico-químicas

Durante o período de armazenamento da urina nos recipientes, foram realizadas análises dos indicadores pH, condutividade elétrica, cor, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, DQO, P-total, NTK, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes. As técnicas de análises laboratoriais obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the examination of Water and Wastewater-22th Edition (APHA et al. 2012).

As análises estatísticas feitas neste trabalho usaram os softwares Excel e R Cran version 3.2.3 sendo estimadas medidas descritivas (dispersão e de posição) para a realização das análises. As medidas de dispersão e posição foram representadas em gráficos e tabelas de associação de informações de variáveis. As medidas de posição usadas foram média, mediana e moda e as de dispersão foram variância e desvio padrão. Foram também usadas as medidas de 1º e 3º quartis para descrever a amplitude dos dados, sendo feita a representação box-plot para a descrição de cada variável.

4.3.2 Análise microbiológica

- **Coliformes termotolerantes**

O método utilizado foi o de membranas filtrantes, que consiste na filtração da amostra através de uma membrana de éster de celulose de porosidade 0,45 µm. Após a filtração, a membrana é transferida para a placa de petri com meio de cultura e levada à incubação a 44,5 °C, por 24h, para posterior contagem do número de colônias típicas.

Etapa 2

4.4 Coleta e preparação da urina

A urina foi coletada em residências no município de Esperança - PB, tendo sido distribuídos frascos de 1000 mL, para os colaboradores, a primeira coleta foi realizada no dia 24 de agosto de 2015, às 8 horas da manhã e recolhidos no dia 25 de agosto de 2015, ou seja, o período de coleta foi de 24 horas, sendo obtidos 6 litros de urina por campanha, pois esta foi realizada semanalmente por um período de 2 meses. Esse volume era homogeneizado no Laboratório de Saneamento da UFCG, sendo, em seguida, realizada a caracterização da urina e preparados os procedimentos para os ensaios de precipitação.

4.5 Ensaio de precipitação

A precipitação foi realizada por meio da adição de óxido de magnésio (MgO) em concentrações variadas para cada 1,0L de urina. Os ensaios de precipitação foram realizados com urina pura e com urina diluída a 7%. Foram utilizadas 2 faixas de concentrações, em respectivamente duas fases: Fase A (0;0,05; 0,15; 0,30 e 0,45 g de MgO/L) e Fase B (0; 0,45; 0,60; 0,75 e 0,90 g de MgO/L). Os ensaios foram replicados 6 vezes em ambas as fases. As concentrações de MgO, em cada uma das fases, foram obtidas pela adição das respectivas massas do óxido a um litro da urina pura ou diluída, com a utilização de um aparelho jar-test, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Urina pura e diluída no aparelho jar-test



Após a adição de MgO, o sistema permaneceu sob agitação a 120 rpm por um período de 2h utilizando um equipamento jar-test; em seguida as amostras ficaram em repouso (Figuras 10 e 11) por 30 minutos e, terminada esta etapa, tanto o precipitado quanto o sobrenadante foram analisados.

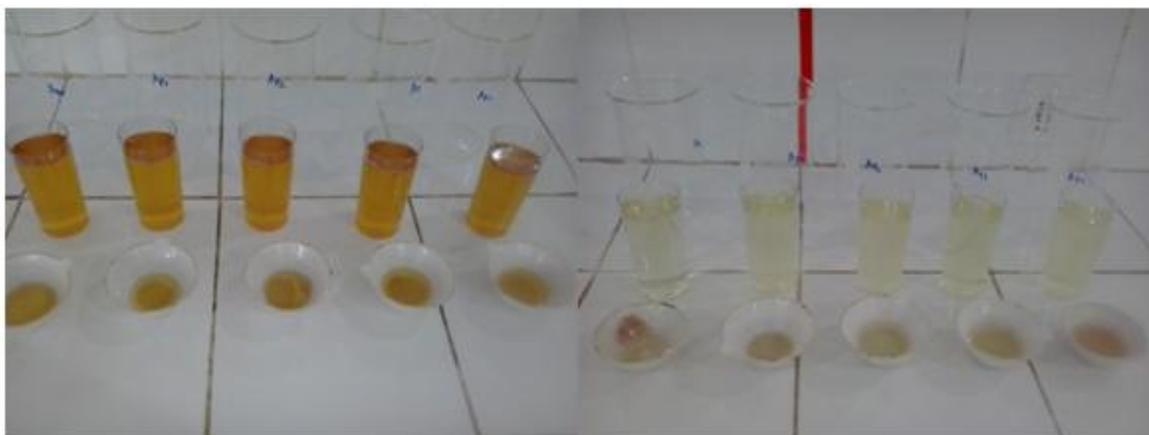
Os indicadores avaliados no sobrenadante foram pH, nitrogênio amoniacal, NTK e fósforo total, enquanto que no precipitado foi analisado o fósforo total.

As técnicas analíticas utilizadas seguiram os procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 22th Edition (APHA et al., 2012).

Figura 10: Amostras de urina pura e diluída em repouso



Figura 11: Sobrenadante e precipitado da urina pura e diluída



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

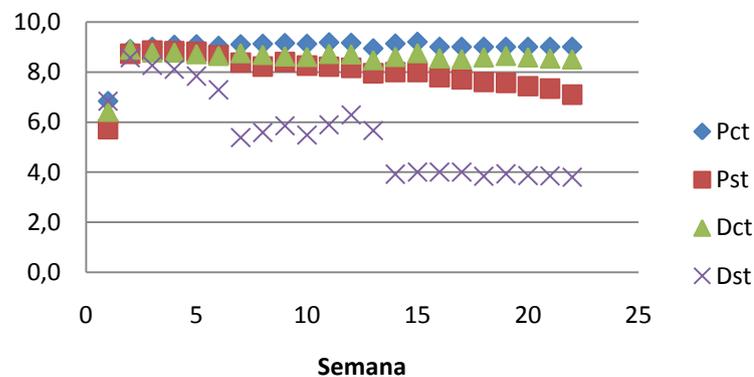
Etapa1:

5.1 Análises físico-químicas

a) pH

Durante o período de seis meses em que a urina foi armazenada, o pH aumentou atingindo valores próximos de 9,5 (Figura 12). As medidas de pH, nos quatro recipientes analisados, variaram, desde a urina fresca até o final do período de armazenamento. A urina fresca nos quatro sistemas (Pct, Pst, Dct e Dst) investigados, apresentou, inicialmente, pH ligeiramente ácido (6,8; 5,7; 6,4 e 6,8, respectivamente). Durante o período de armazenamento o pH dos sistemas Pct, Pst e Dct se elevou, significativamente, devido à predominância de amônia no equilíbrio das espécies amoniacais. O pH da Dst, de início, aumentou, mas diminuiu, em seguida, devido à perda de amônia por volatilização, e solubilização de espécies ácidas, particularmente dióxido de carbono.

Figura 12: Variação do pH ao longo do período de armazenamento



Pct-pura com tampa; **Pst**- pura sem tampa; **Dct**- diluída com tampa e **Dst**-diluída sem tampa

No presente trabalho, foi observado que, a partir da segunda semana de armazenamento, o pH tendeu a aumentar estabilizando-se entre 8,0 e 9,0 para as amostras dos sistemas Pct, Pst e Dct. Os sistemas (Pct e Dct) contendo o isolamento de isopor apresentaram maior elevação do pH quando comparados àqueles sem isolamento.

A urina fresca apresenta um pH ácido, entre 5,6 e 6,8 (LIND et al., 2000; HELLSTRÖM et al., 1999; MAURER et al., 2006). De fato, o pH da urina, quando

determinado logo após sua excreção, é bem próximo de 6,0 (LOPES, 2004; CANTAROW; SCHEPARTZ, 1997), possuindo caráter ácido. COHIM et al.(2007) destacam que o pH da urina pode variar entre 4,8 e 8,2. Já BUENO et al.(2005) apresentam os valores de 6,4 para amostras de pequeno volume e 6,2 para amostras de grande volume em suas análises físico-químicas da urina.

São apresentadas através da Figura 13 e da Tabela 4 as medidas descritivas amostrais de pH para a urina pura com tampa e sem tampa, na qual a Pct (1) mostra uma média e mediana aproximadas, ficando o pH em torno de 9,0; a Pst (2) apresentou predominância de medidas de pH em torno de 8,0. No estudo realizado por Zancheta et al. (2007) foi constatado que o pH da amostra armazenada estabilizou entre 8,5 e 9,0. De acordo com Zancheta (2012) o aumento do pH é devido à formação de amônia pela hidrólise da ureia catalisada pela enzima urease, liberando amônia e bicarbonato.

Figura 13: pH da urina pura com tampa (1) sem tampa (2).

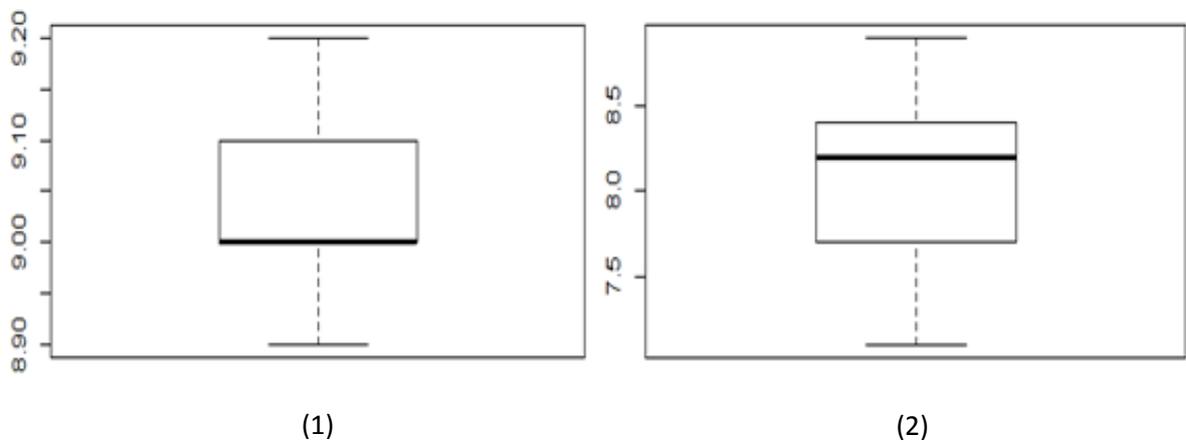


Tabela 4- Valores descritivos do pH dos sistemas de urina pura

	PCT		PST
Mínimo	8,90	Mínimo	7,10
1° Quartil	9,00	1° Quartil	7,70
Mediana	9,00	Mediana	8,20
Média	9,06	Média	8,10
3° Quartil	9,10	3° Quartil	8,40
Máximo	9,20	Máximo	8,90
Variância	0,01	Variância	0,28
Desvio Padrão	0,09	Desvio Padrão	0,52

Pela distribuição das amostras diluída com tampa e diluída sem tampa pode ser observado que o valor máximo do pH da Dct foi de 8,9 e o pH da urina Dst mostrou-se relativamente baixo, sendo o valor mínimo de 3,8 e sua média e mediana de 5,5 (Figura 14). Essa diferença de comportamento do pH reflete a importância do papel da tampa no controle das trocas de espécies gasosas, particularmente amônia e gás carbônico, entre as fases líquida e atmosférica.

Figura 14: pH da urina diluída com tampa (1) e sem tampa (2)

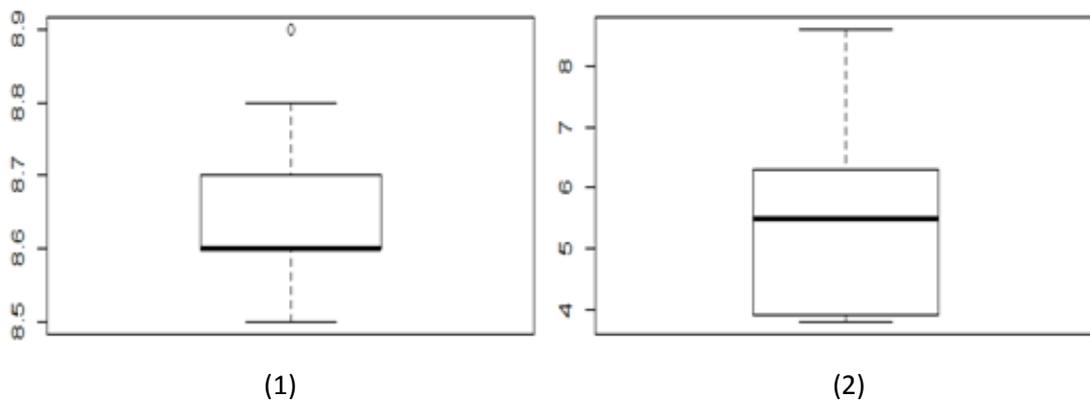


Tabela 5 - Valores descritivos do pH dos sistemas de urina diluída

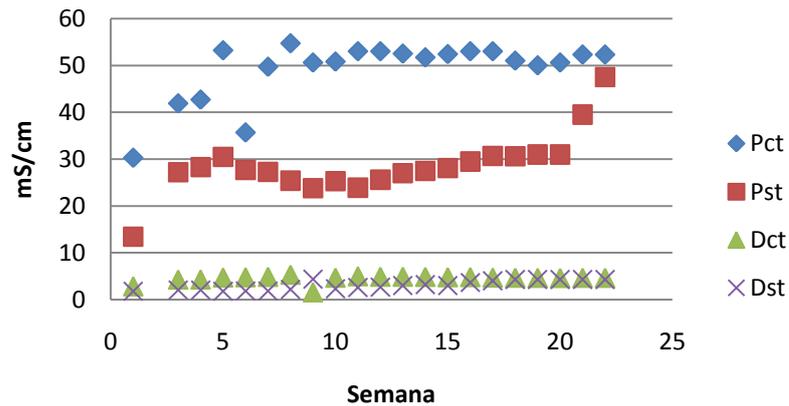
	DCT		DST
Mínimo	8,50	Mínimo	3,80
1° Quartil	8,60	1° Quartil	3,90
Mediana	8,60	Mediana	5,50
Média	8,65	Média	5,50
3° Quartil	8,70	3° Quartil	6,30
Máximo	8,90	Máximo	8,60
Variância	0,02	Variância	2,83
Desvio Padrão	0,12	Desvio Padrão	1,68

b) Condutividade elétrica

De acordo com Silva *et al.* (2012) a condutividade elétrica (CE) de uma solução é a expressão numérica quantitativa da sua capacidade de transportar a corrente elétrica em decorrência das concentrações de sais presentes no meio. Os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, sulfatos e cloretos. O principal deles é o NH_4^+ , íon formado em maior quantidade durante o processo de armazenamento, devido à hidrólise da ureia.

Os valores da condutividade elétrica da urina fresca nos quatro sistemas (Pct, Pst, Dct e Dst), foram, inicialmente, 30,3; 13,4; 2,86 e 1,78 mS/cm, respectivamente. Com o armazenamento, ocorreu um aumento em todos os sistemas, conforme ilustrado na Figura 15. Pct, Dct e Dst tenderam à estabilidade (54,0; 5,1 e 3,67, respectivamente) e o sistema Pst aumentou significativamente, ao final do período de armazenamento.

Figura 15: Variação da condutividade elétrica ao longo do período de armazenamento.



Pct-pura com tampa; **Pst**- pura sem tampa; **Dct**-diluída com tampa e **Dst**- diluída sem tampa

Estes valores da condutividade da urina fresca foram semelhantes aos citados em trabalhos de outros pesquisadores: 14,8 – 25,4 mS/cm (JÖNSSON et al., 2000), 14,4 – 16,4 mS/cm (BAYKAL et al., 2009) e 20 - 35 mS/cm (SOUSA et al., 2008). Com o armazenamento da urina os resultados da condutividade foram bem próximos aos encontrados por Ronteltap et al. (2010) de 56 mS/cm; Etter et al. (2011) de 22,6 mS/cm; e Rios et al. (2007) de 20,0 mS/cm.

Figura 16: Condutividade elétrica dos sistemas de armazenamento de urina pura Pct (1) e Pst (2)

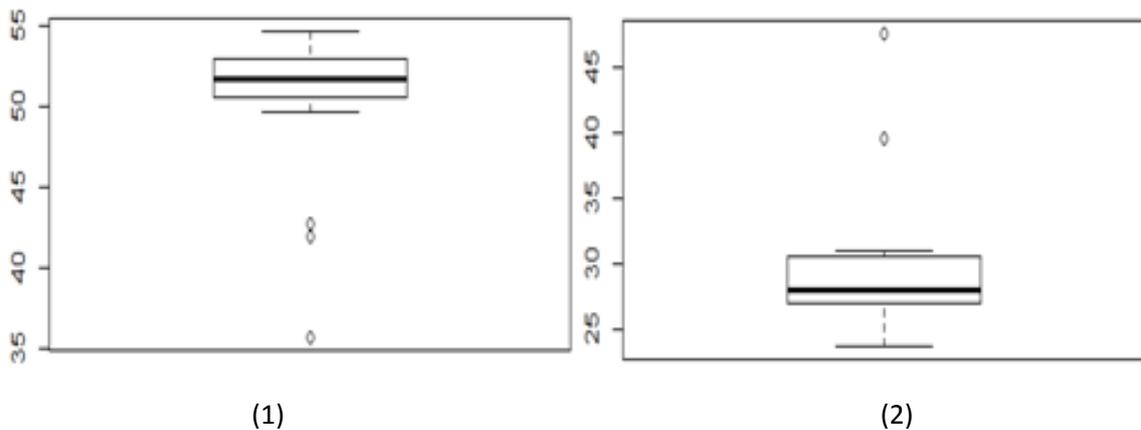


Tabela 6- Valores descritivos da condutividade dos sistemas de urina pura

	PCT		PST
Mínimo	35,70	Mínimo	23,80
1° Quartil	50,60	1° Quartil	27,00
Mediana	51,70	Mediana	28,10
Média	50,23	Média	29,35
3° Quartil	53,00	3° Quartil	30,60
Máximo	54,70	Máximo	47,50
Variância	20,96	Variância	28,63
Desvio Padrão	4,58	Desvio Padrão	5,35

O sistema de urina Pct mostrou valor máximo de 54,7 mS/cm e mediana de 51,7 mS/cm, maiores que os correspondentes valores (47,5; 28,1), apresentados na Figura 16 e Tabela 6, para o sistema de urina Pst.

O sistema de urina Dct apresentou valor máximo de 5,3 mS/cm e o sistema de urina Dst o valor máximo foi de 4,3 mS/cm (Figura 17 e Tabela 7).

Tanto nos sistemas de armazenamento de urina pura como nos de urina diluída pode ser verificado o importante papel desempenhado pela tampa no controle de trocas entre a fase aquática e a atmosfera, destacando-se que os sistemas com tampa apresentam maior condutividade elétrica, em consequência da maior dispersão de espécies iônicas.

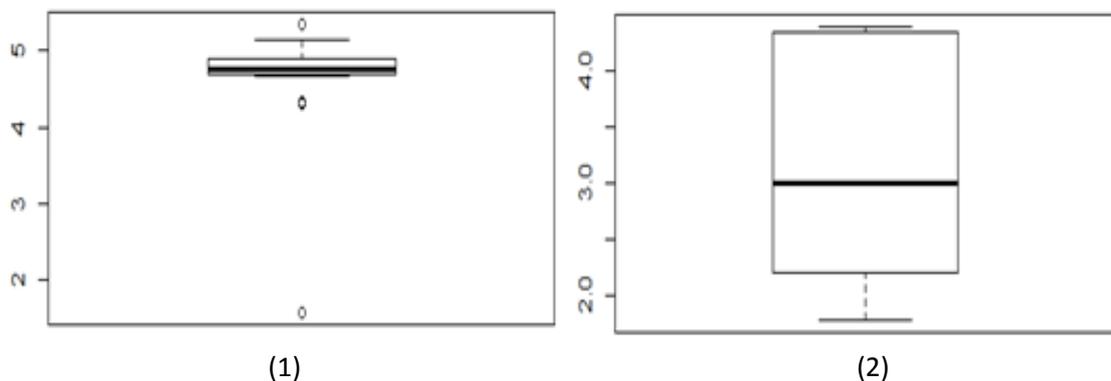
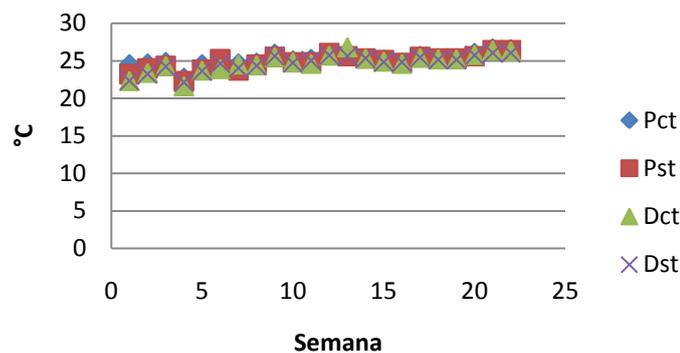
Figura 17: condutividade do sistema de urina diluída com tampa (1) e sem tampa (2)

Tabela 7 - Valores descritivos da condutividade dos sistemas de urina diluída

	DCT		DST
Mínimo	1,574	Mínimo	1,788
1° Quartil	4,690	1° Quartil	2,210
Mediana	4,750	Mediana	3,000
Média	4,640	Média	3,086
3° Quartil	4,890	3° Quartil	4,340
Máximo	5,350	Máximo	4,390
Variância	0,547	Variância	0,998
Desvio Padrão	0,740	Desvio Padrão	0,999

c) Temperatura

Antes do armazenamento, as temperaturas dos sistemas Pct (24,5°C); Pst (23,2°C), Dct e Dst (22,3°C) foram ligeiramente inferiores àquelas após a segunda semana de armazenamento que ficaram nas faixas Pct (24,6 - 25,9°C), Pst(24 -26°C), Dct (23,4-26,8°C) e Dst (23,2-25,6°C), estabilizando os quatro sistemas entre (25,0 - 26,0 °C). A temperatura desempenha papel fundamental na reação de transformação da ureia em nitrogênio amoniacal.

Figura 18: Variação da temperatura no período de armazenamento

Pct-pura com tampa; **Pst**- pura sem tampa; **Dct**- diluída com tampa e **Dst**-diluída sem tampa

Conforme ilustrado na Figura 19 e apresentado na Tabela 8, ambos os sistemas de armazenamento de urina pura (Pct e Pst) apresentaram mediana de 25,2°C. Nos sistemas Dct e Dst (Figura 20 e Tabela 9), a temperatura apresentou valores medianos em torno de 25°C. A tampa dos recipientes não parece ter influenciado sobre o comportamento da temperatura.

É importante observar que, em estudos feitos por Maurer et al. (2006) e Zancheta et al. (2012), foi verificado que temperaturas superiores a 20°C não comprometem a higienização de urina submetida a armazenamento.

Figura 19: Comportamento da temperatura da urina Pct (1) e da urina Pst (2).

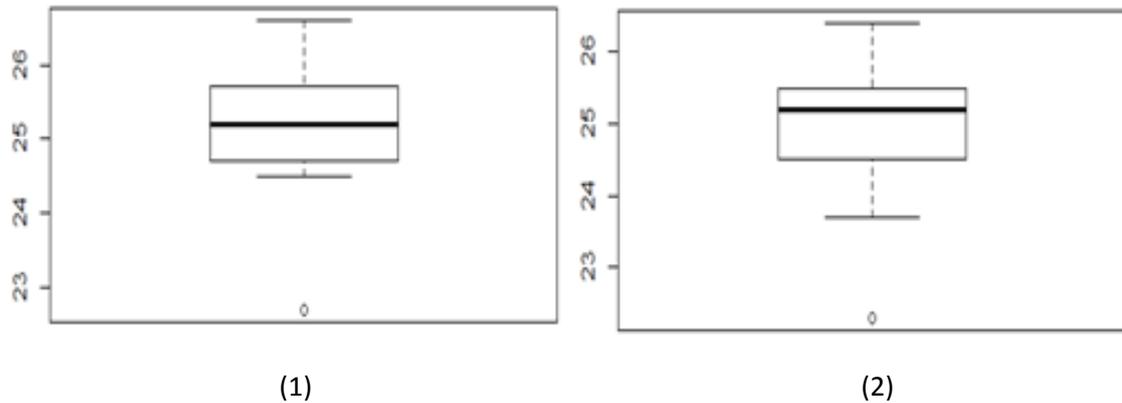


Tabela 8– Valores descritivos da temperatura dos sistemas de urina pura.

	PCT		PST
Mínimo	22,70	Mínimo	22,30
1° Quartil	24,70	1° Quartil	24,50
Mediana	25,20	Mediana	25,20
Média	25,18	Média	24,96
3° Quartil	25,70	3° Quartil	25,50
Máximo	26,60	Máximo	26,40
Variância	0,744	Variância	0,938
Desvio Padrão	0,862	Desvio Padrão	0,968

Figura 20: temperatura da urina diluída com tampa (1) e da urina diluída sem tampa (2)

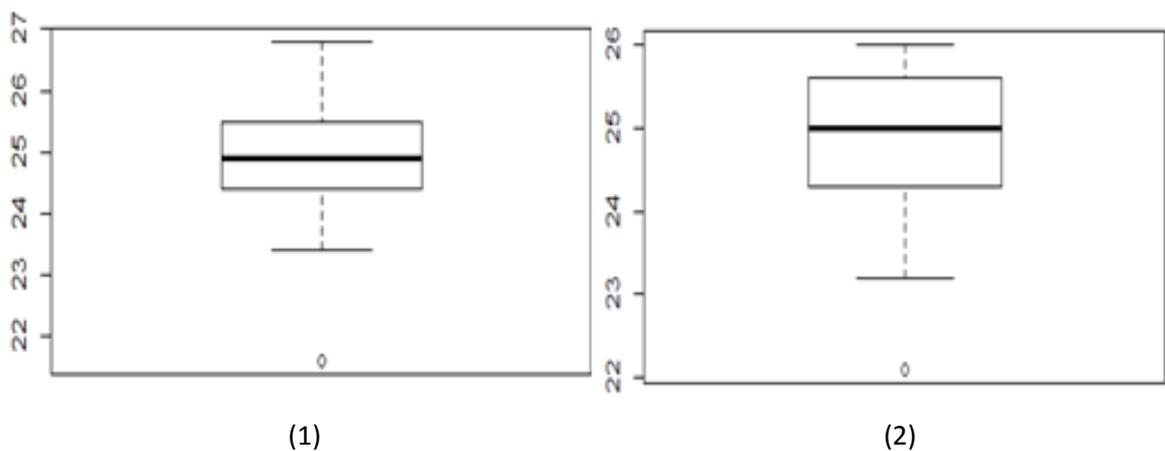


Tabela 9– Valores descritivos da temperatura dos sistemas de urina diluída.

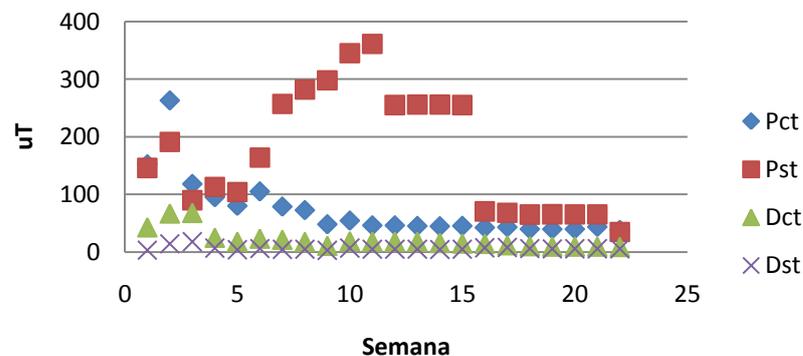
	DCT		DST
Mínimo	21,60	Mínimo	22,1
1° Quartil	24,40	1° Quartil	24,3
Mediana	24,90	Mediana	25,0
Média	24,87	Média	24,8
3° Quartil	25,50	3° Quartil	25,6
Máximo	26,50	Máximo	26,0
Variância	1,337	Variância	0,96
Desvio Padrão	1,156	Desvio Padrão	0,98

d) Cor aparente

As medidas da cor aparente tanto no sistema de urina pura quanto no sistema de urina diluída, os valores foram superiores a 500 uH.

e) Turbidez

Segundo Cantarow; Schepartz (1997), em estado normal a urina fresca é cristalina e translúcida. Nos sistemas experimentais investigados neste trabalho os valores iniciais, em unidades nefelométricas de turbidez (UNT), foram 152 (Pct); 146 (Pst); 43(Dct) e 3,3 (Dst) mas, durante o armazenamento, ocorreu o aumento da turbidez, influenciado, entre outros fatores, por precipitados de fosfatos, que são relativamente insolúveis. Esta precipitação deve-se ao aumento do pH, decorrente da hidrólise da ureia. A Figura 21 ilustra as variações que ocorreram nos quatro sistemas investigados, tendo os valores variado nas seguintes faixas: 263-38 (Pct); 361-35 (Pst); 68- 9 (Dct) e 18-3(Dst), demonstrando ter ocorrido diminuição significativa na turbidez ao final do período de armazenamento.

Figura 21: Variação da turbidez ao longo do período de armazenamento

Pct-pura com tampa; **Pst**-pura sem tampa; **Dct**-diluída com tampa e **Dst**- Diluída sem tampa

A Figura 22 e a Tabela 10 apresentam o comportamento da variável turbidez nos sistemas Pct e Pst, evidenciando o papel da tampa no controle de trocas de espécies entre as fases aquosa e atmosférica, o que parece exercer considerável influência sobre os processos químicos e, conseqüentemente, sobre os indicadores de qualidade do líquido armazenado.

Figura 22: Comportamento da turbidez nos sistemas de urina Pct (1) e Pst (2)

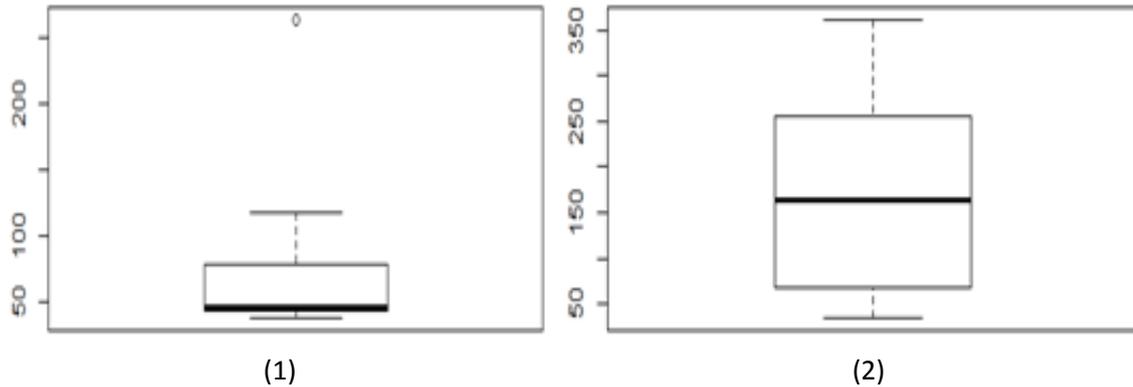
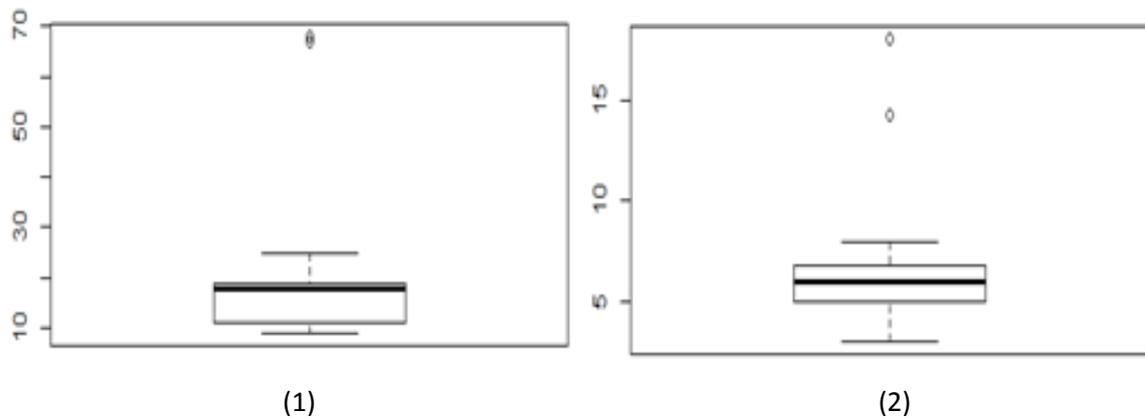


Tabela 10- Valores descritivos da turbidez para os sistemas de urina pura.

	PCT		PST
Mínimo	38,0	Mínimo	35,0
1° Quartil	43,0	1° Quartil	68,0
Mediana	46,0	Mediana	164,0
Média	67,9	Média	174,4
3° Quartil	78,6	3° Quartil	256,0
Máximo	263,0	Máximo	361,0
Variância	2564,4	Variância	11459,9
Desvio Padrão	50,6	Desvio Padrão	107,0

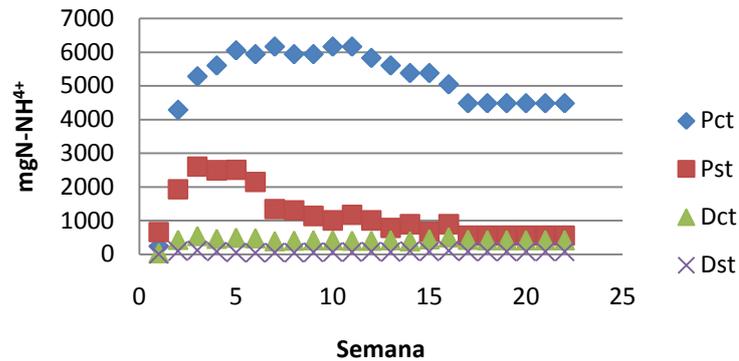
Nos sistemas de armazenamento de urina pura, a tampa do recipiente contribuiu para a diminuição significativa da turbidez, nos sistemas de urina diluída também ocorreu uma diminuição na turbidez da (Dct e Dst) os resultados estão ilustrados na Figura 23 e na Tabela 11.

Figura 23: Comportamento da turbidez no sistema de urina Dct (1) e Dst (2)**Tabela 11 -** Comparação da turbidez entre os sistemas da urina diluída (Dct) e (Dst).

	DCT		DST
Mínimo	9,0	Mínimo	3,0
1° Quartil	11,0	1° Quartil	5,0
Mediana	17,7	Mediana	6,0
Média	20,5	Média	6,6
3° Quartil	19,0	3° Quartil	6,8
Máximo	68,0	Máximo	18,1
Variância	266,0	Variância	11,8
Desvio Padrão	16,3	Desvio Padrão	3,4

f) Nitrogênio amoniacal

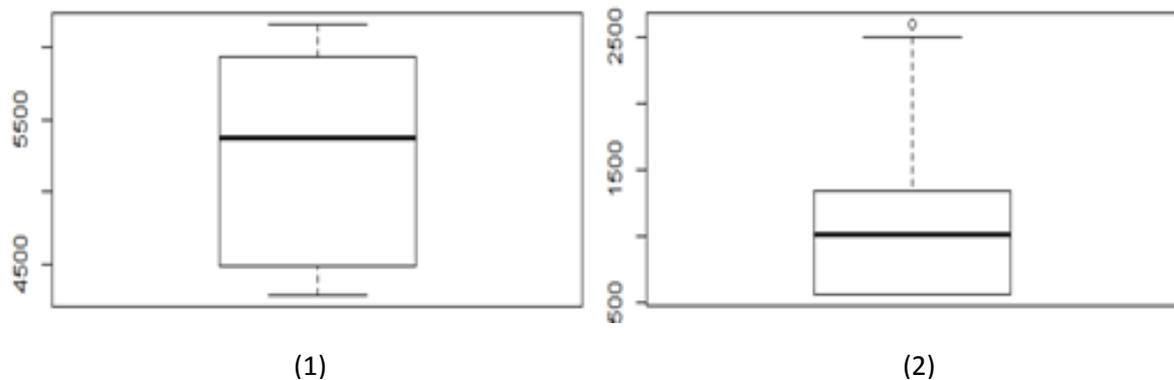
No início da operação dos sistemas foram verificadas as concentrações (mgN-NH₄⁺/L) 235,2 (Pct), 663,6 (Pst), 36,4 (Dct) e 11,2 (Dst), mas, logo em seguida (Figura 24), como consequência da conversão de ureia em nitrogênio amoniacal, suas concentrações aumentaram consideravelmente, particularmente nos sistemas de armazenamento de urina pura, a Pct atingiu seu pico a 6160 mgN-NH₄⁺/L e Pst a 2604 mgN-NH₄⁺/L sendo observada a manutenção de concentrações muito elevadas por um período bastante longo no sistema com tampa e uma diminuição mais significativa, a partir da 9ª semana, no sistema sem tampa.

Figura 24: Comportamento da amônia na urina durante o período de armazenamento

Pct-pura com tampa; **Pst**-Pura sem tampa; **Dct**-diluída com tampa e **Dst**-diluída sem tampa

Esses valores são compatíveis com os verificados por autores como Zancheta (2007) e Udert et al. (2003) que apresentaram valores em torno de 5000mg/L em pesquisas realizadas.

Foi observada uma disparidade entre os resultados obtidos nos sistemas Pct e Pst. A Figura 25 e a Tabela 12 comparam os parâmetros amostrais descritivos, em relação a quantidade de NH_4 .

Figura 25: Quantidade de NH_4 da urina Pct (1) e da urina Pst (2)**Tabela 12**– Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio amoniacal da urina pura (Pct e Pst).

	PCT		PST
Mínimo	4284	Mínimo	560
1° Quartil	4480	1° Quartil	560
Mediana	5376	Mediana	1008
Média	5314	Média	1204
3° Quartil	5936	3° Quartil	1344
Máximo	6160	Máximo	2604
Variância	479424,2	Variância	500568,7
Desvio Padrão	692,41	Desvio Padrão	707,51

Nos sistemas de armazenamento de urina diluída as concentrações ($\text{mgN-NH}_4^+/\text{L}$) máximas de 546 (Dct) e 120 (Dst) podem ser observados na Figura 26 e Tabela 13. Também para urina diluída, foi verificado o importante papel desempenhado pela tampa do recipiente que constitui barreira à volatilização de amônia para a atmosfera e, portanto, contribui para a maior conservação do nitrogênio amoniacal (JACOBSEN, 2002).

Figura 16-Quantidades de NH_4 da urina Dct (1) e Dst (2)

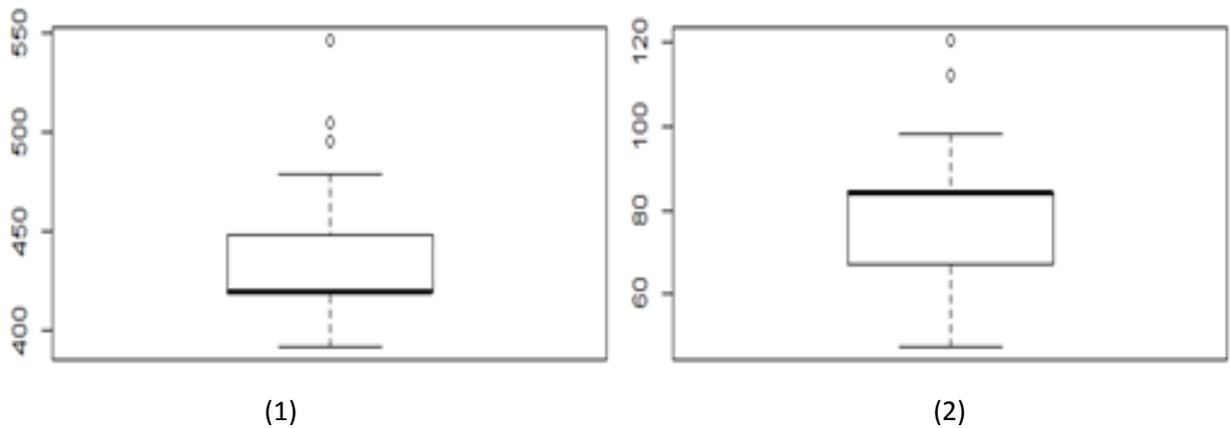


Tabela 13 - Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio amoniacal da urina (Dct) e (Dst).

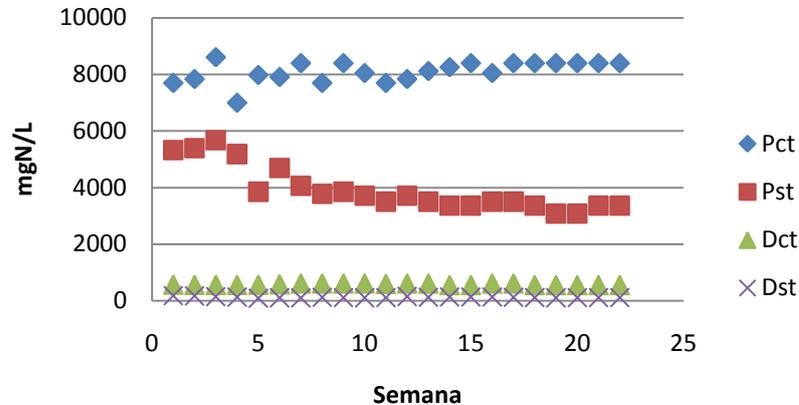
	DCT		DST
Mínimo	392,0	Mínimo	47,6
1° Quartil	420,0	1° Quartil	67,2
Mediana	420,0	Mediana	84,0
Média	436,0	Média	79,3
3° Quartil	448,0	3° Quartil	84,0
Máximo	546,0	Máximo	120,4
Variância	1570,6	Variância	353,0
Desvio Padrão	39,6	Desvio Padrão	18,8

g) NTK

As concentrações (mgN/L) de nitrogênio total kjeldahl (NTK) oscilaram em torno de 8000 no sistema de urina pura com tampa (Pct) durante o armazenamento. No sistema de urina pura sem tampa (Pst), a concentração (mgN/L) inicial (entre 5000 e 6000) diminuiu gradualmente até a faixa entre 3000 e 4000, devido, principalmente, à volatilização de amônia para a atmosfera. Nos sistemas de armazenamento de urina diluída as concentrações (mgN/L)

iniciais de 576,8(Dct) e 179,2(Dst) foram mantidas, respectivamente, nas faixas 600 e 173,6mgN/L (Figura 27).

Figura 27: variações de NTK durante o período de armazenamento



Pct-pura com tampa; **Pst**-pura sem tampa; **Dct**-diluída com tampa e **Dst**-diluída sem tampa

No sistema de armazenamento de urina pura com tampa a concentração média foi bem próxima à encontrada por outros autores, como Johansson (2001), que encontrou 5000-10000 mg/L e Udert (2003), em torno de 5810mg/L.

Figura 28: Valores do NTK da urina Pct (1) e Pst (2)

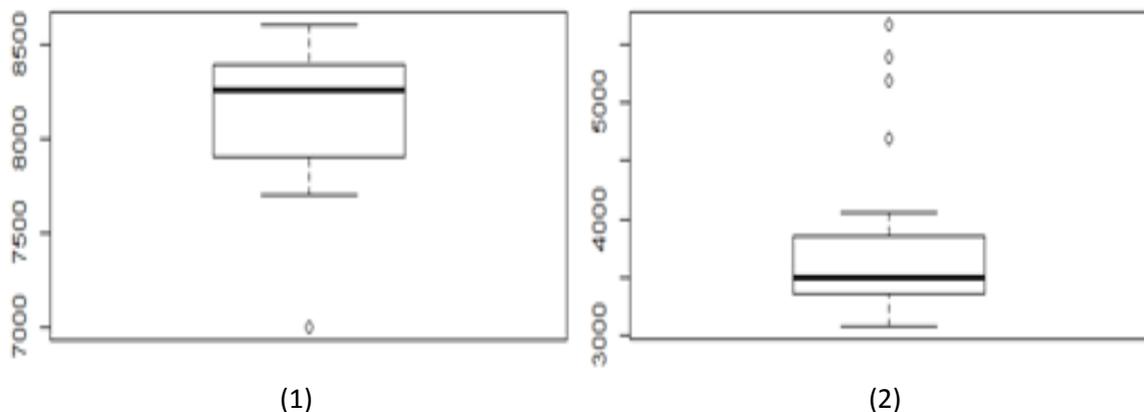


Tabela 14– Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio kjeldahl da urina pura (Pct e Pst).

	PCT		PST
Mínimo	7000	Mínimo	3080
1° Quartil	7910	1° Quartil	3360
Mediana	8260	Mediana	3500
Média	8127	Média	3850
3° Quartil	8400	3° Quartil	3850
Máximo	8610	Máximo	5670
Variância	140093,3	Variância	556150
Desvio Padrão	374,3	Desvio Padrão	745,8

O NTK dos sistemas de urina diluída apresentou valores máximos de 616,0 mg/L (Dct) e 173,6 mg/L(Dst), respectivamente, sendo observado que houve uma pequena redução em relação às características iniciais da Dct.(Figura 29).

Figura 29: Valores do NTK dos sistemas de urina diluída Dct (1) e Dst (2)

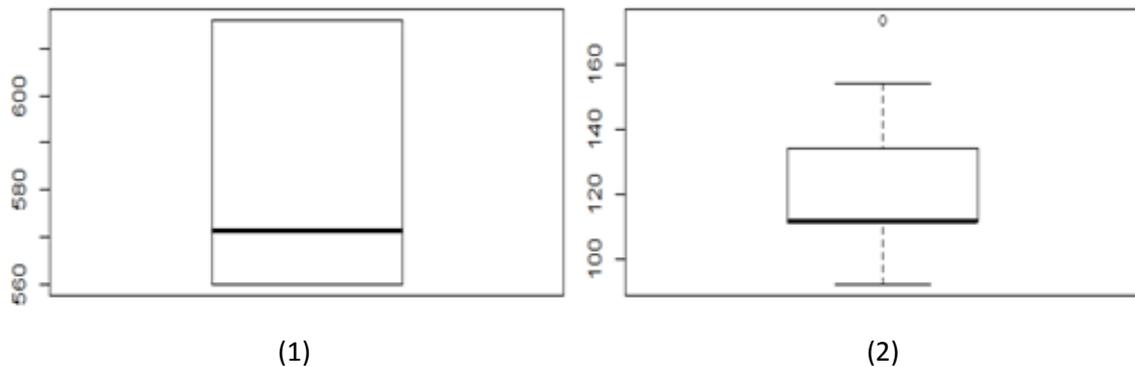


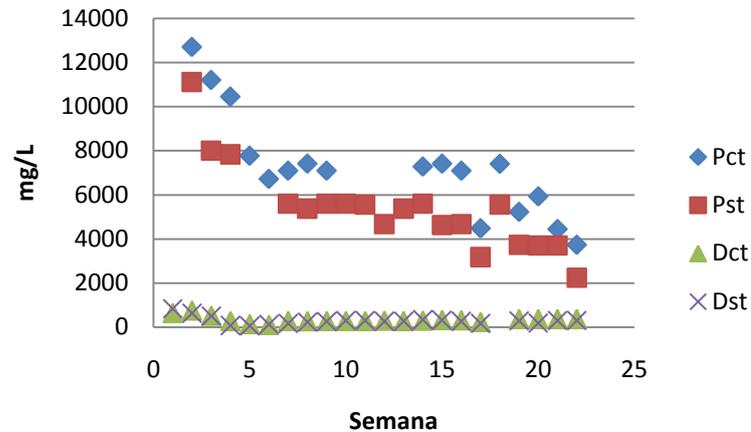
Tabela 15 - Parâmetros amostrais descritivos do nitrogênio kjeldahl da urina diluída (Dct e Dst).

	DCT		DST
Mínimo	560,0	Mínimo	92,4
1° Quartil	560,0	1° Quartil	112,0
Mediana	571,2	Mediana	112,0
Média	586,1	Média	122,1
3° Quartil	616,0	3° Quartil	134,4
Máximo	616,0	Máximo	173,6
Variância	677,6	Variância	371,9
Desvio Padrão	26,03	Desvio Padrão	19,3

h) DQO

Como ilustrado na Figura 30, os sistemas de armazenamento de urina pura apresentaram tendência de redução, desde valores (mg/L) tão elevados como 12698 (Pct) e 11111 (Pst) até faixas entre 6000 e 8000 e entre 4000 e 2000, respectivamente. Nos sistemas de armazenamento de urina diluída os valores da demanda química de oxigênio iniciais de 754 (Dct) e 635 (Dst) foram reduzidas em termos médios para 300–260 mg/L, respectivamente.

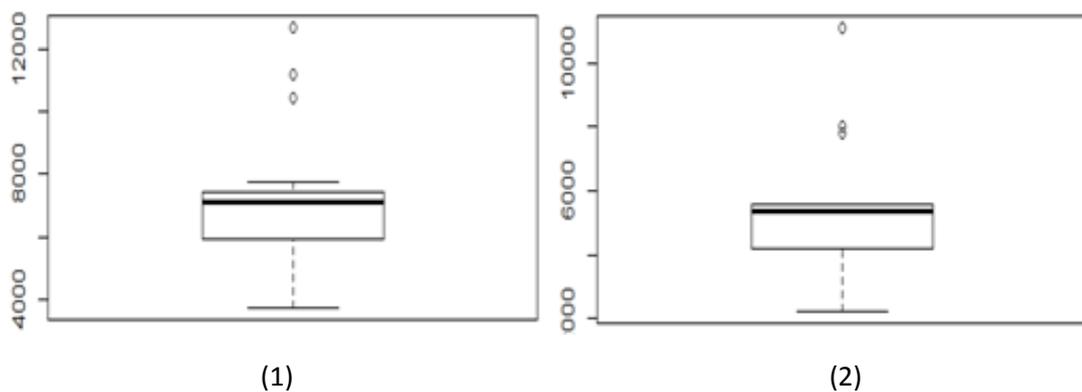
Figura 30: Resultados da DQO ao longo do período experimental de armazenamento



Pct- pura com tampa; **Pst-**pura sem tampa; **Dct-**diluída com tampa e **Dst-** diluída sem tampa

A Figura 31 ilustra os parâmetros descritivos amostrais da DQO da urina pura armazenada devendo ser destacado que, no Pct a tendência central tendeu para 7000mg/L e no Pst essa tendência ficou em torno de 5000 mg/L. A Tabela 16 apresenta os valores absolutos dos parâmetros descritivos amostrais do centro e da dispersão.

Figura 31: Representação box-plot dos dados amostrais de DQO da urina pura Pct (1) e Pst (2)

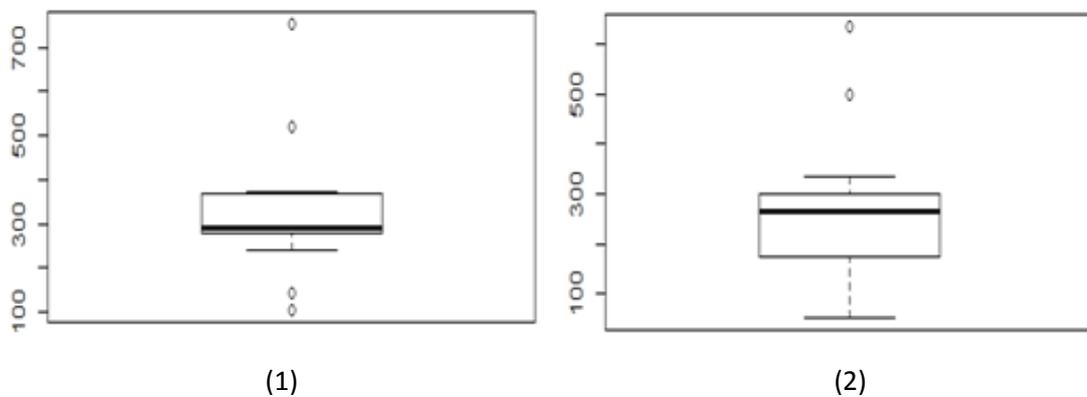


Resultados semelhantes foi observado nas análises físico-químicas da urina realizadas por Bazzarela et al. (2005), que apresentou valores máximos da DQO de 7147mg/L, e também por Araújo (2014), que determinou uma DQO de 11068 mg/L.

Tabela 16- Parâmetros amostrais descritivos da DQO da urina pura (Pct e Pst)

	PCT		PST
Mínimo	3730	Mínimo	2238
1° Quartil	5925	1° Quartil	4180
Mediana	7090	Mediana	5370
Média	7258	Média	5352
3° Quartil	7407	3° Quartil	5597
Máximo	12698	Máximo	11111
Variância	5121499	Variância	3925864
Desvio Padrão	2263	Desvio Padrão	1981

A Figura 32 e a Tabela 17 apresentam os parâmetros descritivos amostrais da DQO da urina diluída submetida ao armazenamento, sendo evidenciados os valores (mg/L) máximos de 754 (Dct) e 635 (Dst) e médios em torno de 300 e 264, respectivamente.

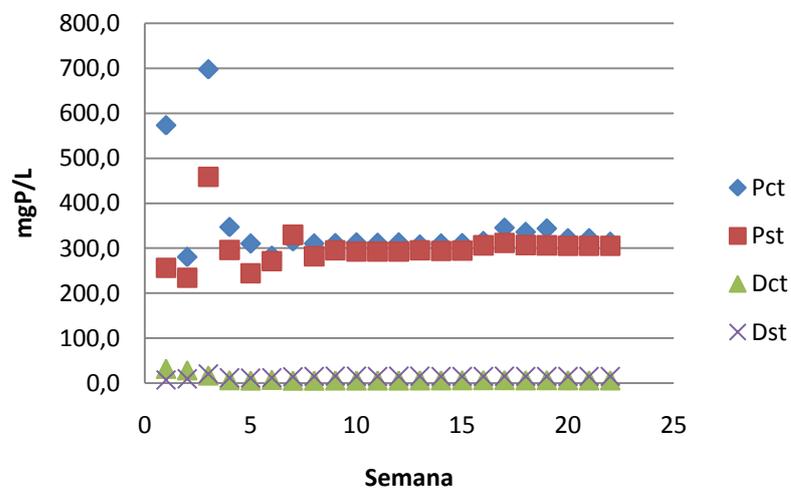
Figura 32: DQO da urina Dct (1) e da urina Dst(2)**Tabela 17 -** Parâmetros amostrais descritivos da DQO da urina diluída (Dct e Dst).

	DCT		DST
Mínimo	104	Mínimo	53
1° Quartil	281	1° Quartil	180
Mediana	291	Mediana	264
Média	323	Média	265
3° Quartil	370	3° Quartil	298
Máximo	754	Máximo	635
Variância	17609	Variância	17473
Desvio Padrão	133	Desvio Padrão	132

i) Fósforo total

Conforme ilustrado na Figura 33, as concentrações (mgP/L) de fósforo total nos sistemas de armazenamento de urina pura, a partir da 4ª semana oscilaram em torno de 300 mgP/L, enquanto que nos sistemas de urina diluída (Dct e Dst) ficaram entre 6 e 8 e em torno de 15, respectivamente.

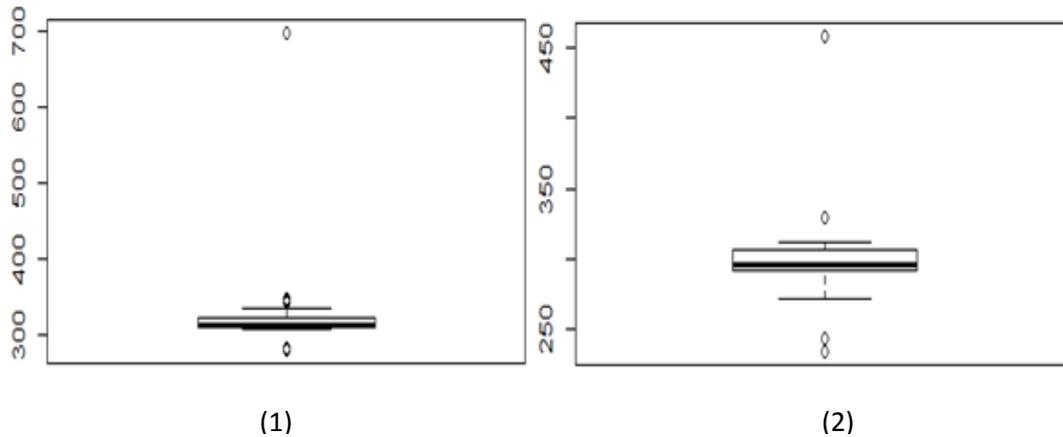
Figura 33: Comportamento do fósforo total durante o armazenamento



Pct- pura com tampa; **Pst-** pura sem tampa; **Dct-** diluída com tampa e **Dst-** diluída sem tampa

Em relação ao sistema de urina pura, valores semelhantes aos obtidos nesta pesquisa, foram determinados por Von Munch; Winker (2009), que relataram concentrações de fósforo total na faixa de 800 – 2000 mgP/L.

As análises descritivas para a quantidade de fósforo total, através da Figura 34 e da Tabela 18, possibilitam identificar que houve uma redução do fósforo durante o período de armazenamento, e essa redução do fósforo nos sistemas de urina pura (Pct e Pst), pode ser explicada devido à precipitação que ocorre em pH básico.

Figura 34: Representação box-plot dos dados de fósforo total da urina pura Pct (1) e Pst (2)

De acordo com Bichler (2002) e Zancheta (2007), a remoção do fósforo está associada ao aumento do pH que favorece sua precipitação. Por seu turno, o aumento do pH está relacionado à amonificação da ureia e ao equilíbrio do nitrogênio amoniacal, processo que tendeu à consolidação após a quarta semana de análise.

Tabela 18- Parâmetros amostrais descritivos de fósforo total da urina pura (Pct e Pst).

	PCT		PST
Mínimo	280,9	Mínimo	234,2
1° Quartil	310,8	1° Quartil	292,1
Mediana	313,1	Mediana	295,2
Média	334,7	Média	300,8
3° Quartil	322,4	3° Quartil	306,1
Máximo	697,6	Máximo	458,2
Variância	7196,6	Variância	1759,3
Desvio Padrão	84,8	Desvio Padrão	41,9

Os sistemas amostrais de urina diluída apresentaram uma redução considerável do fósforo, sendo essa redução mais expressiva no reator Dct, cuja mediana de 6,40 mgP/L foi significativamente menor que o do Dst de 15,26 mgP/L, como ilustrado na Figura 35 e apresentado na Tabela 19. Esse resultado assume uma importância muito grande porque destaca o papel desempenhado pela tampa do reator no desenvolvimento de condições que favorecem o aumento do pH e, conseqüentemente, a precipitação de fósforo, particularmente no armazenamento de águas amarelas que são a matéria prima fornecida por mictórios públicos. Isto é, a eficiência do armazenamento de urina diluída num reator com tampa é significativamente superior à do seu armazenamento em reator sem tampa.

Figura 35: Representação box-plot dos dados de fósforo total da urina diluída Dct (1) e Dst (2)

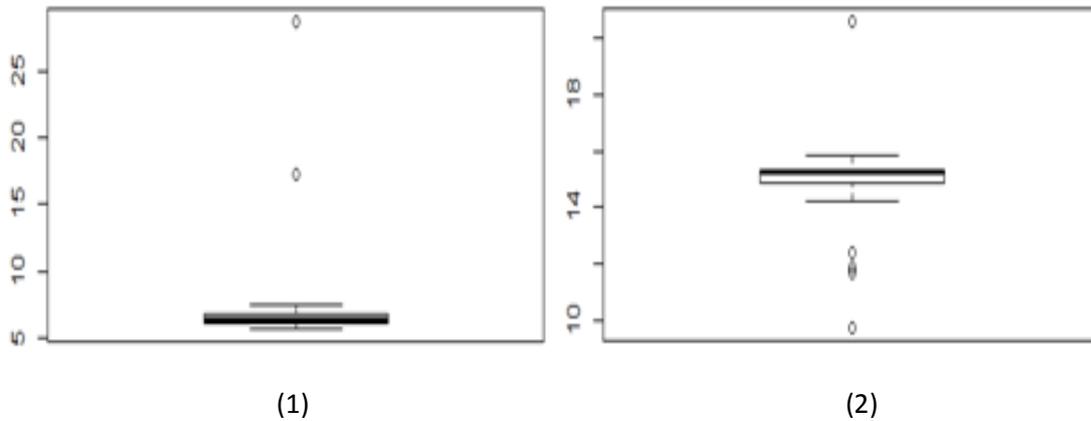


Tabela 19- Parâmetros amostrais descritivos de fósforo total da urina diluída (Dct e Dst).

	DCT		DST
Mínimo	5,70	Mínimo	9,73
1° Quartil	6,05	1° Quartil	14,87
Mediana	6,40	Mediana	15,26
Média	7,96	Média	14,76
3° Quartil	6,78	3° Quartil	15,34
Máximo	28,71	Máximo	20,62
Variância	28,35	Variância	4,40
Desvio Padrão	5,32	Desvio Padrão	2,10

J) Oxigênio dissolvido

As Figuras 36 e 37 ilustram o comportamento do oxigênio dissolvido nos sistemas de armazenamento de urina pura e diluída, sendo destacada a condição de anaerobiose dos recipientes de urina pura (Pct e Pst) e o fato da maior concentração média, em torno de 4mg/L, no reator de armazenamento de urina diluída sem tampa, embora a concentração média do reator com tampa tenha sido bem significativa, em torno de 3mg/L, conforme o resumo dos parâmetros descritivos apresentado na Tabela 20.

Figura 36: Representação box-plot do oxigênio dissolvido da urina pura Pct (1) e Pst (2)

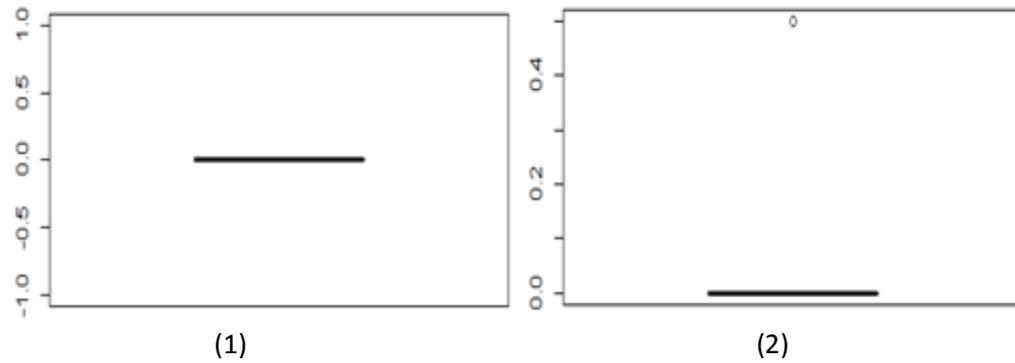


Figura 37: Representação box-plot do oxigênio dissolvido da urina diluída Dct (1) e Dst (2)

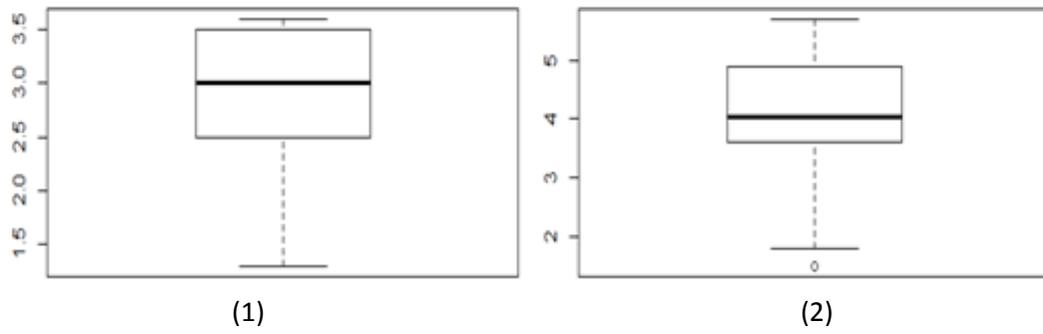


Tabela 20– Parâmetros amostrais descritivos de oxigênio dissolvido da urina diluída (Dct e Dst)

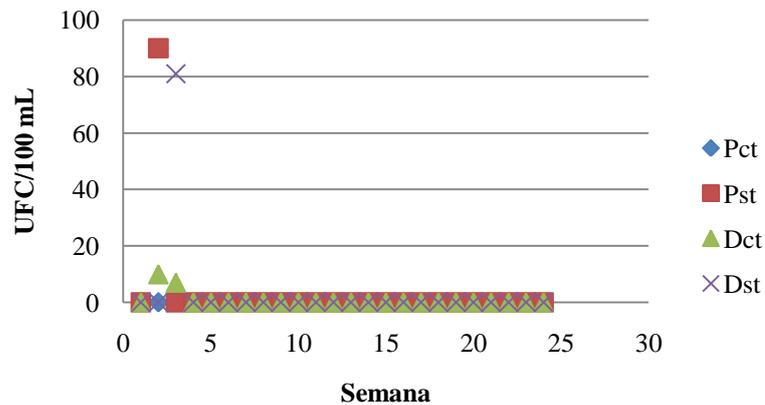
DCT		DST	
Mínimo	1,300	Mínimo	1,500
1º Quartil	2,500	1º Quartil	3,600
Mediana	3,000	Mediana	4,050
Média	2,800	Média	4,033
3º Quartil	3,425	3º Quartil	4,825
Máximo	3,600	Máximo	5,700
Variância	0,535	Variância	1,213
Desvio Padrão	0,732	Desvio Padrão	1,101

5.2 Análise microbiológica

a) *Coliformes termotolerantes*

No aspecto microbiológico, logo que a urina foi armazenada apresentou um número excessivo de coliformes termotolerantes, sendo impossível a leitura do mesmo, porém, a partir da segunda semana de armazenamento, foi possível a realização da leitura e pode-se observar que a Pst e Dst apresentaram valores de 90UFC/100mL e 80UFC/100mL, respectivamente. Após 20 dias, os resultados foram praticamente nulos em todas as amostras, sendo isso atribuído, principalmente, à elevação do pH, causada pelo aumento na concentração de amônia(Figura 38). Esse comportamento foi bastante semelhante aos relatados por Bazzarella et al. (2005),os quais verificaram essa nulidade em aproximadamente 20 dias após o início do armazenamento, quando o pH atingiu valores acima de 8,0.

Figura 38: Comportamento de coliformes termotolerantes durante o armazenamento



Pct-pura com tampa;**Pst**-pura sem tampa;**Dct**-diluída com tampa e **Dst**-diluída sem tampa

De acordo com Silva et al. (2005), em relação à análise microbiológica, constata-se que a urina humana apresenta altas concentrações de coliformes termotolerantes. Porém, deve-se observar que uma pessoa não excreta pela via urinária nenhum tipo de bactérias do grupo coliforme, o que ocorre é a contaminação da urina na saída da uretra; a não ser quando a pessoa está com infecção urinária, que de fato pode haver.

Como os resultados da contagem de coliformes nos quatro sistemas (Pct, Pst, Dct e Dst) apresentam valores praticamente nulos, não foram apresentadas tabelas, sendo esses resultados ilustrados nas Figuras 39 e 40.

Figura 39: Representação box-plot de coliformes termotolerantes da urina pura Pct (1) e Pst (2)

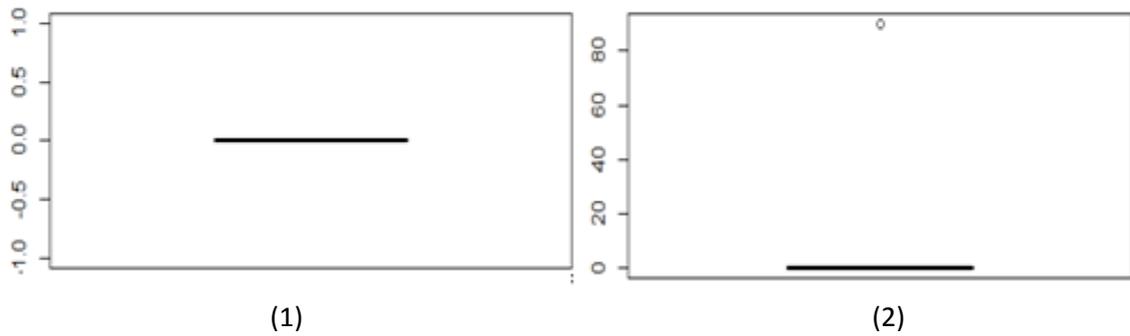
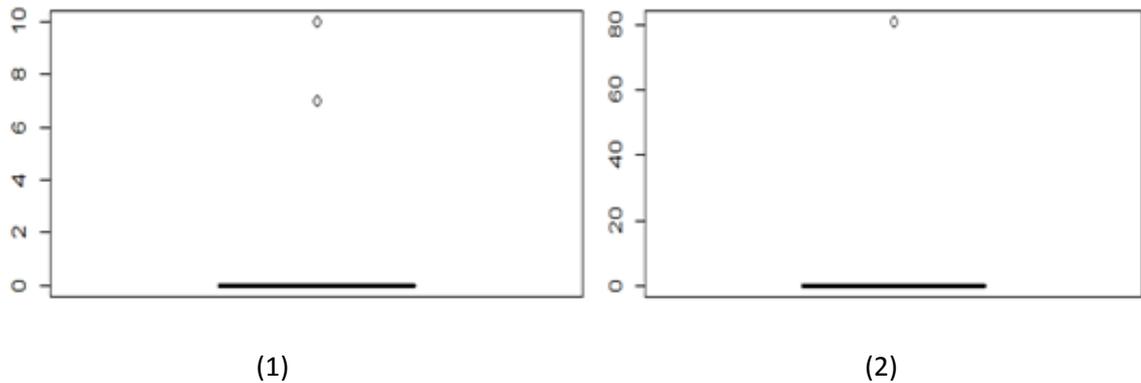


Figura 40: Representação box-plot de coliformes termotolerantes da urina diluída Dct (1) e Dst(2)



Etapa 2

1ª e 2ª Faixas de concentrações de MgO analisadas (Fase A e Fase B)

5.3 Análises físico-químicas

Os valores e concentrações apresentadas como resultados para todas as variáveis físico-químicas referem-se às médias de resultados obtidos em 6 replicatas de ensaios realizados em cada uma das fases.

a) pH

Como apresentado na Tabela 21, o pH da urina pura (Ap0), inicialmente 5,70, na Fase A, aumentou gradualmente após a adição de quantidades definidas de óxido de magnésio, agitação por 2h a 120 rpm e repouso por 30 min, tanto pela ação basificante do óxido como pela amonificação da ureia. Nessa fase, os valores de pH determinados foram de 7,5 para a

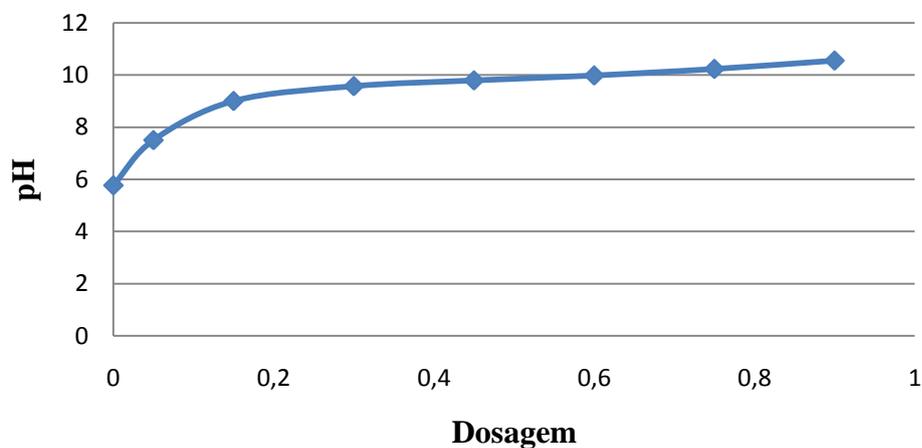
adição de 0,05g MgO/L e de 9,80 para a adição de 0,45g MgO/L. Na segunda fase, o pH inicial de 5,83 aumentou para 9,78 com a dosagem de 0,45g MgO/L e até 10,23 para a adição de 0,90g MgO/L. As Figuras 41 e 42 ilustram a relação do pH *versus* dosagens de MgO nos sistemas amostrais da urina pura e diluída no conjunto das Fases A e B.

Tabela 21– Aumento do pH da urina pura com a adição de óxido de magnésio (Fases A e B)

Concentração (Fase A)	pH	Δ pH (%)
Ap0	5,70	
Ap1 (0,05)	7,50	31,6%
Ap2 (0,15)	9,00	57,9%
Ap3 (0,30)	9,57	67,9%
Ap4 (0,45)	9,80	71,9%
Concentração (Fase B)	pH	Δ pH (%)
Ap0	5,83	
Ap1 (0,45)	9,78	67,8%
Ap2 (0,60)	9,98	71,18%
Ap3 (0,75)	10,23	75,47%
Ap4 (0,90)	10,55	80,9%

Ap0- Amostra pura sem adição de óxido de magnésio

Figura 41: pH da urina pura *versus* dosagens de MgO no conjunto das Fases A e B



De acordo com Tengrui et al. (2007) a reação de precipitação da estruvita é altamente dependente do pH e para Stratful et al. (2001), valores de pH acima de 9,0 possibilitam a remoção de cerca de 90% do fósforo.

Nos ensaios de precipitação com a urina diluída, como apresentado na Tabela 22, o aumento gradual do pH ocorreu, mas discretamente que nos ensaios com amostras de urina pura, principalmente na Fase A. O pH da urina diluída (Ad0) aumentou de 6,4 e 6,2,

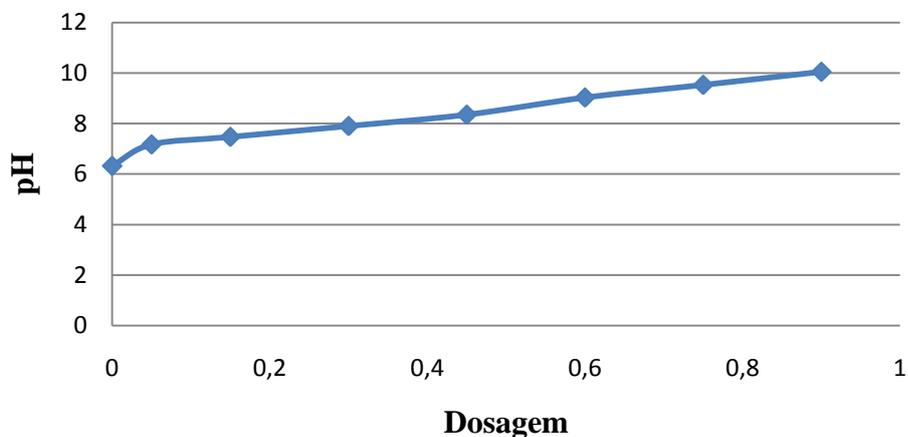
respectivamente nas fases A e B, até um máximo de 10,05 para a dosagem de 0,90g MgO/L(Ad4), na Fase B. Esses resultados indicam que, para águas amarelas, a demanda por óxido de magnésio é maior que para urina pura para ser atingida uma faixa de pH (9) mais satisfatória à precipitação de fósforo. Isso resulta do desenvolvimento mais discreto da amonificação de ureia na urina diluída.

Tabela 22– Resultados do pH da urina diluída com a adição das concentrações (Fase A e B)

Concentração (Fase A)	pH	Δ pH (%)
Ad0	6,40	
Ad1 (0,05)	7,17	12%
Ad2 (0,15)	7,47	17%
Ad3 (0,30)	7,90	23%
Ad4 (0,45)	8,37	31%
Concentração (Fase B)	pH	Δ pH (%)
Ad0	6,25	
Ad1 (0,45)	8,33	33%
Ad2 (0,60)	9,03	44%
Ad3 (0,75)	9,53	52%
Ad4 (0,90)	10,05	61%

Ad0- Amostra diluída sem óxido de magnésio

Figura 42: pH da urina diluída *versus* dosagens de MgO no conjunto das Fases A e B



b) Nitrogênio amoniacal

Conforme apresentado nas Tabelas 23 e 24, ocorreu a redução do nitrogênio amoniacal como resultado do tratamento da urina, pura ou diluída, com a adição de óxido de magnésio (MgO), nas duas faixas de concentrações (Fases A e B). Tal tendência de decréscimo do nitrogênio amoniacal pode ser explicada pelo aumento do pH devido à adição de MgO e agitação provida pelo aparelho jar-test que favorecem a volatilização de amônia. As Figuras 43 e 44 ilustram a redução das concentrações de nitrogênio amoniacal no conjunto dos

ensaios de precipitação (Fases A e B). É importante observar que a eficiência do tratamento de precipitação da urina diluída pode resultar relativamente maior que sua aplicação à urina pura, dependendo do pH e, conseqüentemente, da utilização de quantidades maiores de MgO.

Tabela 13– Decréscimo do nitrogênio amoniacal da urina pura (Fases A e B)

Concentração (Fase A)	mgN-NH ₄ ⁺	ΔN-NH ₄ ⁺ (%)
Ap0	208	
Ap1 (0,05)	168	-19,2%
Ap2 (0,15)	164	-21%
Ap3 (0,30)	156	-25%
Ap4 (0,45)	152	-27%
Concentração (Fase B)	mgN-NH ₄ ⁺	ΔN-NH ₄ ⁺ (%)
Ap0	205,73	
Ap1 (0,45)	151,20	-27%
Ap2 (0,60)	140,63	-32%
Ap3 (0,75)	133,50	-35,1%
Ap4 (0,90)	122,30	-41%

Ap0- Amostra pura sem óxido de magnésio

Figura 43: Decréscimo de nitrogênio amoniacal da urina pura no conjunto das Fases A e B

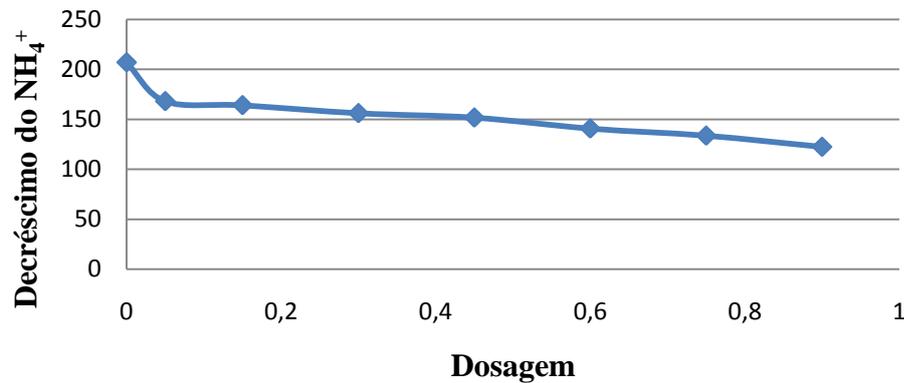
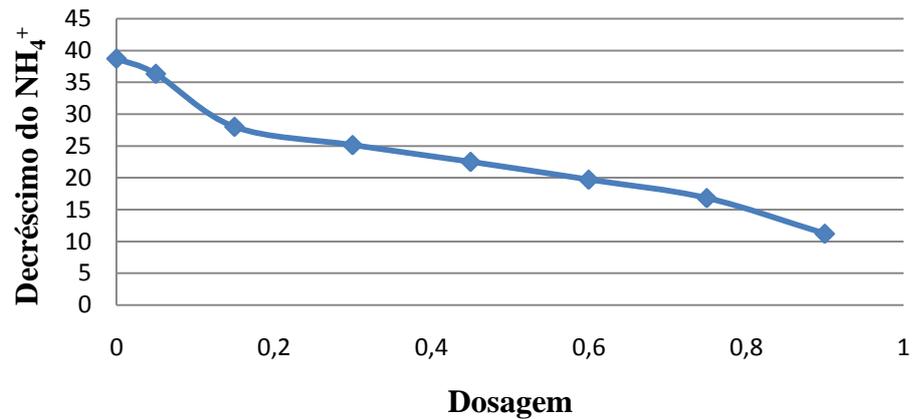


Tabela 25– Decréscimo do nitrogênio amoniacal da urina diluída (Fases A e B)

Concentração(Fase A)	mgN-NH ₄ ⁺ /L	ΔN-NH ₄ ⁺ (%)
Ad0	39,07	
Ad1 (0,05)	36,33	-7 %
Ad2 (0,15)	28,00	-28%
Ad3 (0,30)	25,13	-36%
Ad4 (0,45)	19,40	-50%
Concentração (Fase B)	mgN-NH ₄ ⁺ /L	ΔN-NH ₄ ⁺ (%)
Ad0	38,38	
Ad1 (0,45)	25,60	-33%
Ad2 (0,60)	19,70	-49%
Ad3 (0,75)	16,80	-56%
Ad4 (0,90)	11,20	-71%

Ad0- Amostra diluída sem óxido de magnésio

Figura 44: Decréscimo de nitrogênio amoniacal da urina diluída no conjunto das Fases A e B

c) NTK

Os valores de nitrogênio total kjeldahl (NTK), que se refere à soma das frações de nitrogênio trinegativo (amônia e nitrogênio orgânico), na análise das duas faixas de concentrações (Fases A e B), diminuíram gradativamente, sob a influência das condições do ensaio (adição de MgO e agitação), que levam eventualmente à volatilização de amônia resultante da hidrólise de ureia. As Tabelas 25 e 26 resumem os resultados dos ensaios, respectivamente para urina pura e urina diluída.

É notável o efeito da precipitação aplicada ao tratamento da urina diluída quando comparado ao da aplicação à urina pura, tendo sido obtidas concentrações abaixo de 100mg NTK/L, o que, considerando o efeito da diluição, permite verificar que, relativamente, torna-se mais viável tratar águas amarelas, mais frequentemente produzidas em shoppings, terminais de transportes, escolas, etc, do que urina pura.

As Figuras 45 e 46 ilustram a diminuição de NTK, no conjunto das Fases A e B, para a urina pura e diluída, respectivamente.

Tabela 25–Redução de concentrações de NTK da urina pura (Fases A e B)

Concentração (Fase A)	NTK	$\Delta\text{N-NTK}$ (%)
Ap0	7140	
Ap1 (0,05)	6626	-7%
Ap2 (0,15)	6440	-10%
Ap3 (0,30)	5973	-16,34%
Ap4 (0,45)	5646	-21%

Concentração (Fase B)	NTK	Δ N-NTK (%)
Ap0	7210	
Ap1 (0,45)	5950	-17,5%
Ap2 (0,60)	5635	-22%
Ap3 (0,75)	5320	-26%
Ap4 (0,90)	5095	-29%

Ap0- Amostra pura sem óxido de magnésio

Figura 45: Diminuição de NTK da urina pura no conjunto das fases A e B

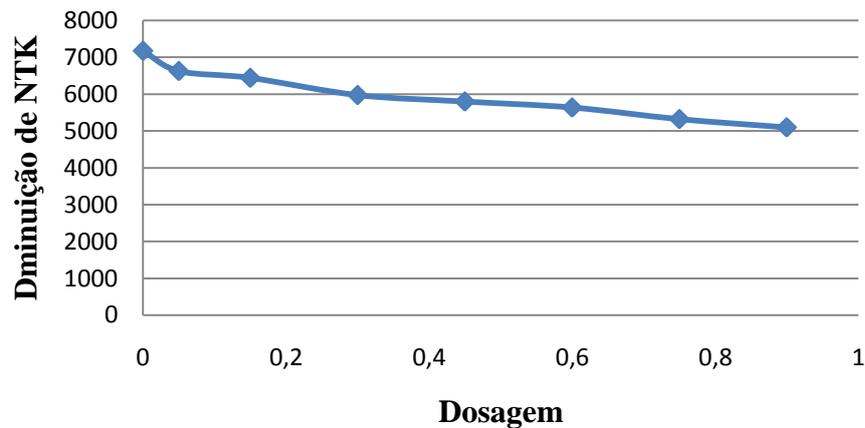
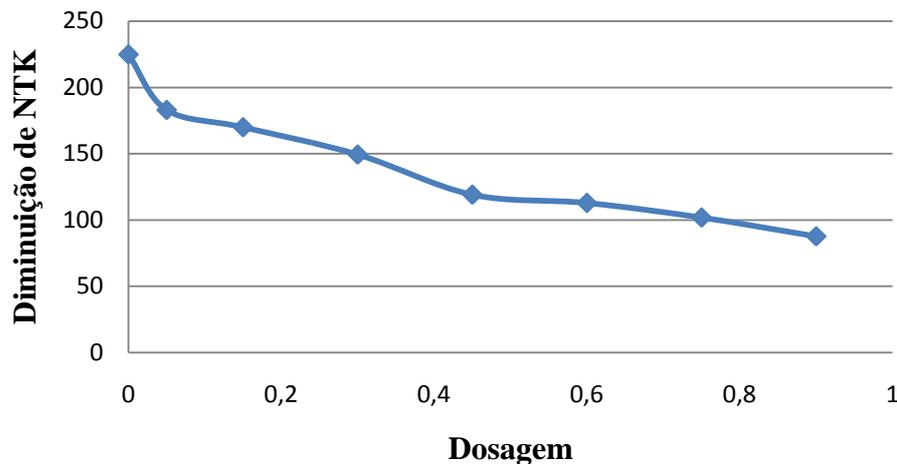


Tabela 26– Redução de concentrações de NTK da urina diluída (Fases A e B)

Concentração (Fase A)	NTK	Δ N-NTK (%)
Ad0	224,73	
Ad1 (0,05)	182,93	-18,6%
Ad2 (0,15)	169,87	-24,4%
Ad3 (0,30)	149,27	-33,5%
Ad4 (0,45)	113,87	-49,3%
Concentração (Fase B)	NTK	Δ N-NTK (%)
Ad0	224,95	
Ad1 (0,45)	124,10	-45%
Ad2 (0,60)	112,75	-50%
Ad3 (0,75)	101,75	-55%
Ad4 (0,90)	87,55	-60%

Ad0-Amostra diluída sem óxido de magnésio

Figura 46: Diminuição de NTK da urina diluída no conjunto das fases A e B

d) Fósforo total

A precipitação controlada da estruvita é um processo delicado, que depende da concentração de seus constituintes básicos no meio (NH_4^+ , Mg^{2+} e PO_4^{3-}), do pH, alcalinidade, temperatura, força iônica, concentração de sólidos em suspensão, dentre outras variáveis do sistema aquoso (MÜNCH e BARROS, 2001).

Na recuperação do fósforo total das amostras analisadas foram adicionadas quantidades crescentes de MgO (Tabelas 27 e 28), tendo as análises de fósforo ocorrido no sobrenadante e no precipitado. Nos ensaios com a urina pura, foi verificada remoção significativa de fósforo do sobrenadante, mesmo com a adição de doses mínimas (0,05g/L) de MgO, sendo esse fósforo incorporado ao sedimento.

Em pesquisas feitas por Cardinali et al.(2008) a remoção média de fósforo, para dois testes realizados, foi de 98,8% a uma dosagem de 0,30 g/L de MgO. Ao adicionar 0,05 g/L o rendimento foi de 61% em virtude do pH que foi abaixo do valor ideal.

Os valores médios da remoção de fósforo total para a urina diluída são apresentados na Tabela 28. Considerando o fator de diluição, é possível demonstrar que os resultados dos ensaios de precipitação aplicados a águas amarelas apresentam vantagem significativa na recuperação de fósforo, quando comparados àqueles dos ensaios para urina pura, no que pese a possibilidade de um maior investimento com a adição de óxido. Do ponto de vista ambiental, no entanto, os resultados são indiscutivelmente melhores no tratamento de águas amarelas, principalmente quando é previsto o reuso do efluente na irrigação de canteiros, por exemplo.

As Figuras 47 e 48 ilustram, respectivamente, a redução no sobrenadante e o aumento no precipitado, de fósforo total, nos ensaios de precipitação na urina pura, enquanto que as Figuras 49 e 50 ilustram os correspondentes resultados para a urina diluída.

Tabela 27–Recuperação de fósforo total do sobrenadante e do precipitado da urina pura (Fases A e B)

Fase A	mgP/L	ΔP (%)	mgP/L	ΔP (%)
Concentração	Sobrenadante	Sobrenadante	Precipitado	Precipitado
Ap0	608,00		42,00	
Ap1 (0,05)	303,00	-50,16	308,33	634
Ap2 (0,15)	299,00	-51	316,00	652
Ap3 (0,30)	294,33	-51,6	320,67	663
Ap4 (0,45)	275,67	-55,5	336,00	700
Fase B	mgP/L	ΔP (%)	mgP/L	ΔP (%)
Concentração	Sobrenadante	Sobrenadante	Precipitado	Precipitado
Ap0	610,50		48,15	
Ap1 (0,45)	268,50	-56	334,00	593
Ap2 (0,60)	261,00	-57,2	346,00	618
Ap3 (0,75)	222,00	-64	357,00	641
Ap4 (0,90)	179,00	-70,6	369,00	666

Ap0- Amostra pura sem óxido de magnésio

Figura 47: Redução do fósforo total da urina pura no sobrenadante das Fases A e B

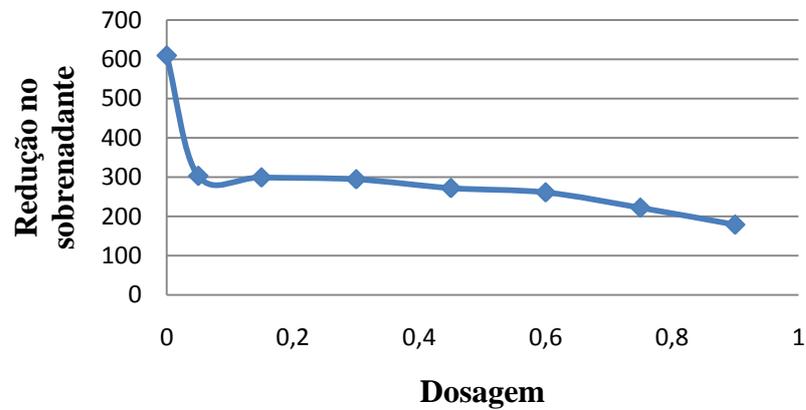


Figura 48: Aumento do fósforo total da urina pura no precipitado das Fases A e B

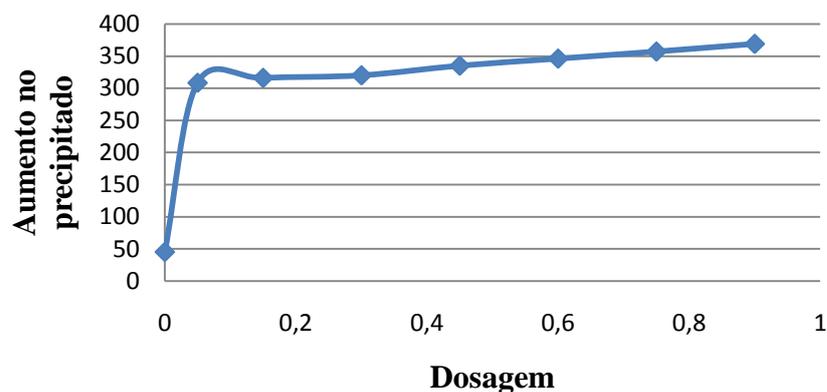


Tabela 28– Recuperação de fósforo total do sobrenadante e do precipitado da urina diluída (Fases A e B)

Fase A Concentração	mgP/L Sobrenadante	ΔP (%) Sobrenadante	mgP/L Precipitado	ΔP (%) Precipitado
Ad0	35,80		2,20	
Ad1 (0,05)	12,23	-66	22,60	927
Ad2 (0,15)	11,47	-68	23,27	972
Ad3 (0,30)	10,93	-69,4	24,40	1009
Ad4 (0,45)	10,33	-71,1	25,53	1060
Fase B Concentração	mgP/L Sobrenadante	ΔP (%) Sobrenadante	mgP/L Precipitado	ΔP (%) Precipitado
Ad0	35,85		2,53	
Ad1 (0,45)	9,90	-72,3	25,60	911
Ad2 (0,60)	8,55	-76,1	26,60	951
Ad3 (0,75)	7,63	-79	27,95	1004
Ad4 (0,90)	6,73	-81,2	28,60	1030

Ad0-Amostra diluída sem oxido de magnésio

Figura 49: Redução do fósforo total da urina diluída no sobrenadante no conjunto das Fases A e B

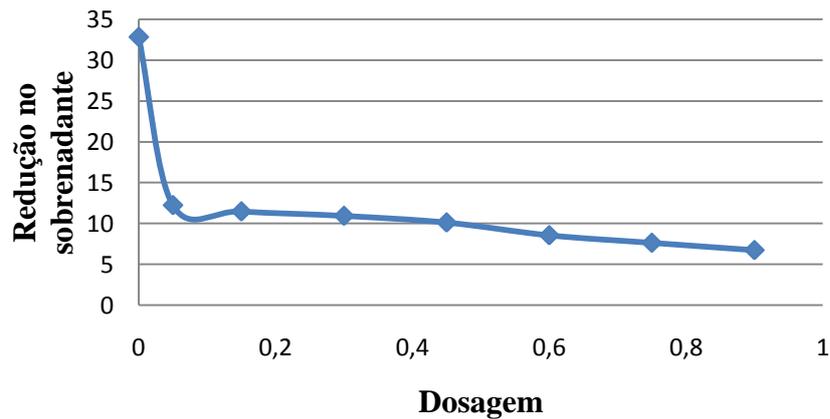
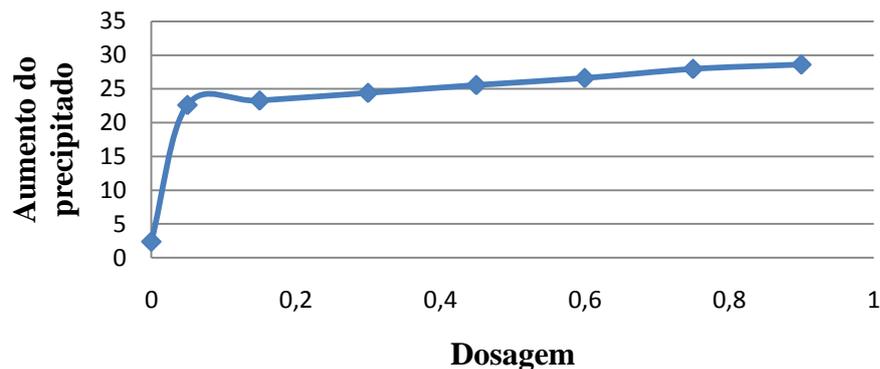


Figura 50: Aumento do fósforo total da urina diluída no precipitado no conjunto das Fases A e B.



e) *Peso do resíduo fixo*

Os valores médios dos pesos do resíduo fixo para a urina pura e diluída são apresentados nas Tabelas 29 e 30, sendo observada uma relação direta entre o peso do resíduo fixo no precipitado e a dosagem de MgO.

As Figuras 51 e 52 ilustram o aumento do resíduo fixo no precipitado, respectivamente para os ensaios de precipitação na urina pura e diluída. Considerando o efeito da diluição é possível verificar que a precipitação aplicada a águas amarelas resulta mais eficiente que a aplicação à urina pura.

Tabela 29–Peso do resíduo fixo do precipitado formado nos ensaios de precipitação com a urina pura (Fases A e B)

Concentração(Fase A)	Resíduo fixo (g/L)	Aumento do resíduo%
Ap0	2,08	
Ap1 (0,05)	4,81	131
Ap2 (0,15)	8,60	313
Ap3 (0,30)	12,08	480
Ap4 (0,45)	20,67	893
Concentração (Fase B)	Resíduo fixo (g/L)	Aumento do resíduo%
Ap0	2,09	
Ap1 (0,45)	20,63	887
Ap2 (0,60)	21,80	943
Ap3 (0,75)	22,48	975
Ap4 (0,90)	22,73	987

Ap0- Amostra pura sem óxido de magnésio

Figura 51: Aumento do resíduo fixo do precipitado na urina pura nas concentrações das Fases A e B.

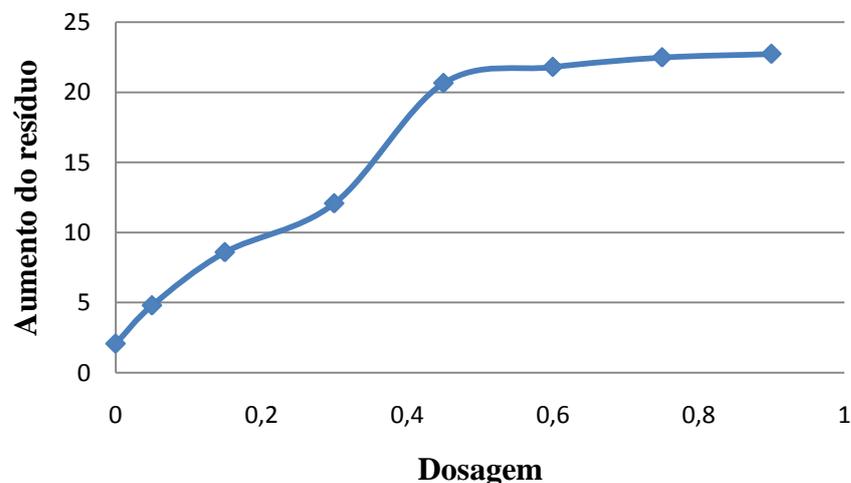
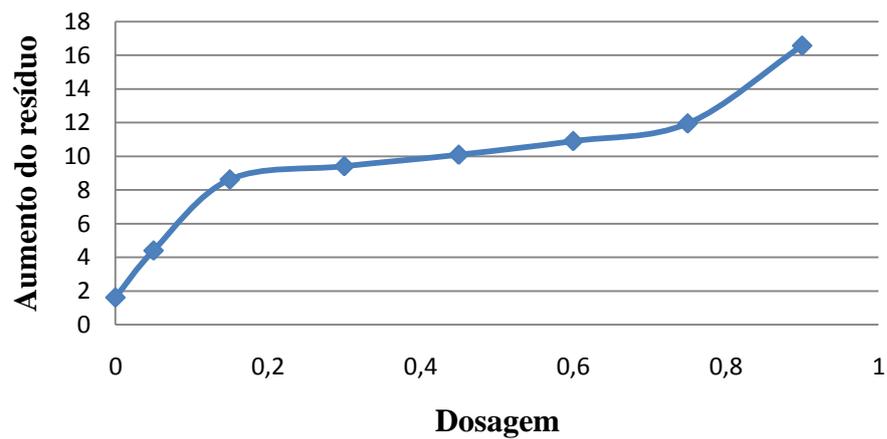


Tabela 30–Peso do resíduo fixo do precipitado formado nos ensaios de precipitação com a urina diluída (Fases A e B)

Concentração (Fase A)	Resíduo fixo (g/L)	Aumento do resíduo%
Ad0	1,61	
Ad1 (0,05)	4,40	173
Ad2 (0,15)	8,62	435
Ad3 (0,30)	9,41	484
Ad4 (0,45)	10,29	539
Concentração (Fase B)	Resíduo fixo (g/L)	Aumento do resíduo%
Ad0	1,62	
Ad1 (0,45)	9,89	510
Ad2 (0,60)	10,90	572
Ad3 (0,75)	11,95	637
Ad4 (0,90)	16,57	922

Ad0-Amostra diluída sem óxido de magnésio

Figura 52: Aumento do resíduo fixo do precipitado na urina pura nas concentrações das Fases A e B.



6. CONCLUSÕES

- O armazenamento da urina é um método de higienização bastante eficiente, nas condições de temperatura ambiente (25 a 26°C), para a inativação de indicadores fecais. O pH elevado, consequência da conversão da ureia em nitrogênio amoniacal é benéfico para a inativação de microrganismos na urina.
- A inativação dos coliformes termotolerantes nos quatro sistemas investigados ocorreu a partir dos 20 dias, em temperatura ambiente e pH elevado, indicando que o armazenamento pode ser uma das formas mais viáveis e seguras de tratamento da urina, embora na literatura, a recomendação de armazenamento seja de no mínimo seis meses para eliminar quaisquer tipos de patógenos.
- Os sistemas de armazenamento de urina com tampa (Pct e Dct) demonstraram maior eficiência para alcançar a meta de conservar nitrogênio. A tampa impede as trocas entre espécies nas fases aquosa e atmosférica e representa verdadeiro obstáculo contra a volatilização de nitrogênio amoniacal.
- Na remoção de nutrientes, particularmente o fósforo, a eficiência da precipitação com óxido de magnésio é diretamente relacionada à concentração de óxido cuja concentração crescente promove o aumento gradual do pH.
- A aplicação do tratamento de precipitação à urina diluída promove maior eficiência à separação do fósforo, em comparação à aplicação do processo à urina pura. Isto é muito providencial, tendo em vista a grande frequência de instalações produtoras de águas amarelas, a exemplo de shoppings, estações de transportes coletivos, parques, escolas, etc, as quais também podem fazer a utilização de efluentes na irrigação de jardins e na descarga sanitária.
- O reuso da urina humana proporciona a reciclagem de importantes quantidades de nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo, para o uso na agricultura, reduzindo consideravelmente o consumo de fertilizantes químicos.

7. RECOMENDAÇÕES

- Realizar estudo de viabilidade econômica e técnica, particularmente as águas amarelas.
- Desempenhar estudos complementares de caracterização da urina pura e diluída em termos da ocorrência de contaminantes fármacos, caracterizando a urina humana distinguindo-a por sexo.
- Caracterização dos precipitados no sedimento.

8. REFERÊNCIAS

- AISSE, M.M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.
- 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=cbk_type_item&type=2&id=1033.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- ANTONINI, S.; NGUYEN, P.T.; ARNOLD, U.; EICHERT T.; CLEMENS J. Solar thermal evaporation of human urine for nitrogen and phosphorus recovery in Vietnam. **Science of the Total Environment**, n. 414, 2012.
- APHA, American Public Health Association, Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th Ed. Washington, 2012.
- ASMUS, A. F. **Sistema para conservar o nitrogênio na urina visando seu reuso como fertilizante**. Dissertação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mato Grosso do Sul, 2009.
- BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- BAZZARELLA, B. B.; DIAS, G. B.; BASTOS, F.P.; LEE, P.W.; GONÇALVES, R. F. Caracterização quali-quantitativa da urina humana com vistas ao aproveitamento agrícola. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, v.1, p. 186-187, 2005.
- Botto, M. P. (2013). *Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza/CE.
- 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, Vitória - ES. Anais: **Conferência Latino-Americana em Saneamento Sustentável (II ECOSANLAC)**, 2012.

BRASIL, **Edital de Chamada Pública, nº 002/2012**. ANA – Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. Programa Conservação e Gestão de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2012.

BUENO, F. B. A.; SOUTO, G. D. B.; LOPES, A. C.; CESARI, C. E.; CAMPOS, J. R. *Avaliação de Técnicas para Tratamento da Urina Humana*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande – MS. 2005.

CARDINALI, C.R.; ZANCHETA, P.G. ; BLANCK, P.L.; REBOUÇAS, T.C.; GONÇALVES, R.F. **Estudo da precipitação da estruvita na urina humana visando sua utilização como um fertilizante natural**. 49º Congresso Brasileiro de Química. 04 a 08 de Outubro de 2009. Porto Alegre/RS.

CETESB. **Gestão da água**. O problema da escassez de água no mundo problema da escassez. São Paulo, 2006.

Costanzi, R. N.; Frizzo, E.; Dombek, D.; Colle, G. Rosa, J. F.; Maibuk, L. A. C.; Fernandes, M. S. P. Reúso de Água Amarela. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 2, n. 1, P. 9 – 16, 2010.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A. C.; NASCIMENTO, F. R. *Uso agrícola da urina: uma breve perspectiva. Eco-Saneamento para preservação da água e segurança alimentar*. Universidade Federal da Bahia: Departamento de Engenharia Ambiental. Fortaleza; 2007.

D. Cordell, J.-O. Drangert, S. White, The story of phosphorus: global food security and food for thought, *Glob. Environ. Chang.* 19 (2) (2009) 292–305.

Eissa, M. A. ; Thomas, James M. ; Pohll, Greg ; Hershey, Ronald L. ; Dahab, Kamal A. ; Dawoud, Maher I. ; Elshiekh, Abdelfattah ; Gomaa, Mohamed A. **Groundwater resource sustainability in the Wadi Watir delta, Gulf of Aqaba, Sinai, Egypt**. *Hydrogeology journal* [1431-2174] Eissa, Mustafa ano:2013 vol:21 fasc:8 pág:1833

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**. Swedish International Development Cooperation Agency - SIDA, Estocolmo, 1998

FITTSCHEN, I.; Hahn, H. H. Characterization of the Municipal Mastewater Parameters Human Urine and Preliminary Comparison with Liquid Cattle Excretion. **Water science technology**, Alemanha, v. 38, n. 6, p. 9-16, 1998.

GAJUREL, D. R.; GULYAS, H.; REICH, M.; OTTERPOHL, R. Behavior of four selected pharmaceuticals during long-time storage of yellow water. In: International Conference on Sustainable Sanitation: “Food and Water Security for Latin America”. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ECOSAN, 2007.

GONÇALVES, R. F.; Rebouças, T. C.; Miraval, D. O.; Bianchi, G.; Bazzarella, B. B. **Caracterização e Tratamento de Diferentes Tipos de Águas Residuárias de Origem Residencial Após Segregação.** AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando Antiguos Principios para os Nuevos Desafíos Del Milenio. Monte video, p. 1 – 10, 2006.

GONCALVES, R. F.; ZANCHETA, P. G. ; CARDINALI, C. R. *Efeitos da estocagem na composição físico química e biológica da urina humana objetivando o seu aproveitamento na agricultura.* In: VIII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006, Fortaleza - CE.

GONCALVES, R.F. (coordenador). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água/ Rio de Janeiro:PROSAB, 2009.

HEINONEN-TANSKI, H., VANWIJK-SIJBESMA, C. Human Excreta for Plant Production. **Bioresource Technology**, v. 96, 403–411, 2005.

HEINONEN-TANSKI, H.; SJÖBLOM, A.; FABRITIUS, H.; KARINEN, P. Pure human urine is a good fertilizer for cucumbers. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 1, p. 214-217, 2007.

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.

Hespanhol, I. Um novo Paradigma para a Gestão de Recursos Hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 131 – 158, 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.

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., STENSTROM, T.A., JONSSON, H., SUNDIN, A. Evaluation of faecal contamination and microbial die-off in urine separating sewage systems. **WaterSci.Technol.**, v. 38, n. 6, p. 17–25, 1998.

HÖGLUND, C.; STENSTRÖM, T.A.; SUNDIN, A.; JÖNSSON, H.; VINNERÅS, B. Hygienic quality of source separated urine based on the analysis of fecal indicator bacteria. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT STRATEGIES FOR ORGANIC WASTE USE IN AGRICULTURE (RAMIRAN 98), **8th, 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.

Human urine based on the content of faecal sterols. *Water Res* 2002;36:1965–72.

J. CHAIME, World Population to 2300, United Nations Department of Economic
JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; HÖGLUND, C.; RICHERT-STINTZING, A.; RODHE,
L. **Urine separation: closing the nutrient cycle.** Estocolmo, 2000..

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. **Urine separating sewage systems - environmental effects and resource usage.** *Water Science and Technology*, v. 46, n. 06-07, 2002.

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.

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.

Karak, T.; Bhattacharyya, P. Human Urine as a Source of Alternative Natural Fertilizer in Agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. **Resources, Conservation and Recycling.** v. 55, p. 400 – 408, 2011.

KIPERSTOK, A.; NASCIMENTO, F.R.A.; KIPERSTOK, A.C. O tratamento em separado da urina e das fezes é uma solução viável ou uma utopia? In: *Revista DAE.* Maio/2010, p. 38 a 43.

Kirchmann, H.; Pettersson, S. Human Urine-chemical Composition and Fertilizer Efficiency. *Fertilizer Res.* v. 40, p. 149–54, 1995.

KUISMA, A. **Sustainable wastewater management in the Europe an union.** The Hague University of Applied Sciences.WECF. 2008. Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=851>. Acesso em: 27 de fev. 2015.

LANGERGRABER, G.; MÜLLEGGER, E. **Ecological sanitation - A way to solve global sanitation problems?.** *Environment International.* Austria, 2004.

Larsen, T. A.; Peters, I.; Alder, A.; Eggen, R.; Maurer, M.; Muncke, J. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental Science and Technology,** v. 35, n. 9, p.192 – 197, 2001.

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, LaudicéiaG. ; HOJAIJ, Aparecido ; PINTO, Renilto A. ; PINTO, FernandadeR. ; Amaral, LUIZ A. Do ; FERRAUDO, Antônio S. **Sazonalidade de indicadores de**

qualidade de água em poços do município de jaboticabal - sp. Nucleus [1678-6602] Lopes, Laudicéaano:2010 vol:7 iss:1 pg:155

Machado, C. J. S. A Gestão Francesa de Recursos Hídricos: Descrição e Análise dos Princípios Jurídicos. **Revista Bras. de Recursos Hídricos.** v. 8, n. 4, p. 31 – 47, 2003.

MANILA, C. F. **Ecological Sanitation – Na Introduction to the Philippines.** DILG-GTZ Water Program, Philippines, 2003.

MAURER, M.; PRONK W.; LARSEN, T. A. **Treatment processes for source-separated urine.**In: Water Research. Suíça, 2006.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering. Treatment and Reuse,** 4th Edition, McGraw-Hill, New York, 2003.

NASCIMENTO, F.R. Uso agrícola da urina: uma breve perspectiva. In: CONFERENCIA INTERNACIONALEM SANEAMENTO SUSTENTAVEL: SEGURANCA ALIMENTAR EHIDRICA PARA A AMERICA LATINA, 2004.

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.

NOUR, E. A. A.; PHILLIPPI, L. S.; ROSTON, D. M.; ZANELLA, L.; GONÇALVES, R. F. Gerenciamento de águas negras e amarelas. In: PROSAB, Programa de pesquisa em saneamento básico. **Uso Racional da Água em Edificações.** Vitória, 2006.

NUVOLORI, A. **Esgoto Sanitário – Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola.** 1aed. 2003. 520 p.

ONYANGO, E. **Oferta de água em 2025.** In Lista Fonte d’água. Centro de Referencia do Everglades (USA) Movimento da Cidadania pelas Águas. WaterMedia Network, 16 nov. 2002. Disponível em: <<http://archives.ces.fau.edu/fontedagua.html>>

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

Rios, É. C. S. V. Uso de Águas Amarelas Como Fonte Alternativa de Nutriente em Cultivo Hidropônico da Alface (*Lactuca sativa*). 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2008.

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.

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

SANTOS, K. D.; HENRIQUE, I. N.; SOUSA, J. T.; Leite, V. D. Utilização de Esgoto Tratado na Fertirrigação Agrícola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Suplemento Especial – nº 1, p. 1 – 7, 2006.

SASSE, A. **Sanitation Concepts for Separate Treatment of Urine, Faeces and Greywater**. Task 8, Fertilizer usage. Berlim, 2005.

Schonning C, Leeming R, Stenstrom TA. Faecal contamination of source-separated

SCHÖNNING, C. **Hygienic aspects on the reuse of source separated human urine**. In: NJF Seminar, n. 327, Copenhagen, 2001.

SCHÖNNING, C.; STENSTRÖM, T. A. **Diretrizes para o uso seguro de urina e fezes nos sistemas de saneamento ecológico**. Programa EcoSanRes. Estocolmo, 2004.

SIDA. **Ecological Sanitation**, Estocolmo, 1998. Social Affairs/Population Division, 2004.

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.

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.

TANSKI, H. H.; WIJK-SIJBESMA, C. Van. Human excreta for plant production. *Bioresource Technology*, 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.

VARMA, Sunil e MICHAEL, Karsten. **Impact of multi-purpose aquifer utilisation on a variable-density groundwater flow system in the Gippsland Basin, Australia**. *Hydrogeology journal* [1431-2174] Varma, Sunilano:2012 vol:20 fasc:1 pág:119 -134

VENHUIZEN, P.E.; **The Decentralized Concept of "Waste" Water Management**. 1986. Disponível em: http://www.venhuizen-ww.com/html/papers/dc_concept.html.

VIET ANH, N.; DUCHA, T.; HIEUNHUE, 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>.

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.; JÖONSSON, 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.

Vinneräs, B.; Palmquist, H.; Balmér, P.; Jönsson, H. The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – a proposal for new Swedish design values. **Urban Water Journal**, v. 3, n.1, p. 3–11, 2006.

WERNER, C.; FALL, P. A.; SCHLICK, J.; MANG, H.-P. **Reasons for and principles of ecological sanitation.** Abril 2003, In: Werner C., Avendano V., Demsat S., Eicher I., Hernandez L., Jung C., Kraus S., Lacayo I., Neupane K., Rabiega A., Wafler M., editors. Ecosan—closing the loop — Proceedings of the 2nd International Symposium on ecological sanitation, Abril de 2003, Lübeck, Alemanha, 2004.

ZANCHETA, P. G. **Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola.** Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2007.

ZANCHETA, P.G. et al. **Estudo da evaporação da urina humana como método da redução de volume e concentração de nutrientes como fertilizante.** 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 02 a 07 de setembro de 2007 - Belo Horizonte/MG.