

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Priscilla Garozi Zancheta

Recuperação e Tratamento da Urina Humana
Para Uso Agrícola

VITÓRIA

2007

Priscilla Garozi Zancheta

*Recuperação e Tratamento da Urina Humana
Para Uso Agrícola*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

VITÓRIA

2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Z27r Zancheta, Priscilla Garozi, 1981-
Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola /
Priscilla Garozi Zancheta. – 2007.
83 f. : il.

Orientador: Ricardo Franci Gonçalves.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,
Centro Tecnológico.

1. Urina. 2. Urina - Reúso. 3. Nutrientes. 4. Evaporação. 5. Resíduos
como fertilizante. I. Gonçalves, Ricardo Franci. II. Universidade Federal
do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

Priscilla Garozi Zancheta

*Recuperação e Tratamento da Urina Humana
Para Uso Agrícola*

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 29 de junho de 2007.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Orientador - UFES

Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini
Examinador Interno - UFES

Prof. Dr. Luiz Sergio Philippi
Examinador Externo – UFSC

Aos meus pais Emma e Jonacy
e ao meu irmão Philippe.

Agradecimentos

À Deus, por me mostrar o caminho e me ajudar a seguir em frente, em cada momento de fraqueza.

Aos meus pais Emma e Jonacy, ao meu irmão Philipe e toda a minha querida família (avós, tios e primos) pelo apoio, por acreditarem na minha capacidade e pela minha ausência durante todo esse período.

À minha amiga Fernanda, por todos os momentos, fáceis e difíceis.

Às minhas amigas Cris e Mayra, à minha prima Fernanda e a todos meus amigos e que de certa forma estiveram presentes nessa etapa da minha vida.

Ao Daniel, pela paciência, carinho e compreensão nas horas difíceis e nas visitas à UFES nos finais de semana.

Ao professor Ricardo Franci pela orientação e pelos ensinamentos.

Ao Caio Cardinali, pela dedicação à pesquisa e pelos incentivos.

À Érika Rios, pela disponibilidade e grande cooperação à pesquisa.

Ao Thales pela colaboração com as análises

Aos meus amigos Marjorye, Daniel Tasaico, Janine, Paty Lee, Márcia Cristina, Mônica, Renata e Thais pela paciência, amizade e ajuda nos momentos de dificuldade.

A todos os amigos da ETE e LABSAN, por todo apoio e amizade e por todas as vezes que colaboraram com o xixi. Sem vocês não seria possível a realização desta pesquisa.

À Banca Examinadora: Prof. Sérgio Túlio e Prof. Luiz Sérgio Philippi, pela disponibilidade em me avaliar.

Ao Fábio e à Eliana pela oportunidade concedida e ao Philipe Flegler, pela paciência em me ouvir falando o passo a passo da minha pesquisa.

Ao PROSAB 5 pelo apoio financeiro.

“No mar da vida há ondas fortes (que eu chamo de momentos) não devemos afundar, porque quando eles passam tudo se ilumina, tudo se transforma!”

Fatyly

Resumo

O reciclo de nutrientes entre as áreas urbanas e as áreas cultiváveis é uma etapa crítica em direção ao desenvolvimento ecológico sustentável. A maior parte dos nutrientes que são essenciais na agricultura (N, P, K) é encontrada na urina humana e, na maioria dos casos, sua quantidade total é mais apropriada do que as encontradas nos fertilizantes artificiais. Este trabalho teve por objetivo a caracterização quali-quantitativa, avaliar as formas de estocagem (aberta, fechada e aerada) e a evaporação como técnica de redução de volume e concentração de nutrientes. Para isso foi realizada uma etapa de caracterização, com urina de homens, mulheres, idosos e crianças. Os resultados da caracterização, analisando volume e concentração de nutrientes, mostram que a produção per capita de urina fica em torno de 1,23L/dia para homens, mulheres e idosos e em 0,7L/dia para crianças, e que esta apresenta 7,5g/L de nitrogênio, 0,5g/L de fósforo e 1,6g/L de potássio. Quanto às formas de estocagem, a utilização em reservatórios fechados foi a forma mais eficiente no processo de estabilização físico-química e biológica, pois não ocorreu perda de amônia por volatilização, e nem possíveis contaminações por influência do ambiente externo, a concentração dos nutrientes nessa forma também foi mais satisfatória. Os níveis de coliformes termotolerantes tenderam a praticamente nulo em um período de 15 dias e em temperatura ambiente. O processo de evaporação consistiu na utilização da energia solar como única fonte de calor, e assim, houvesse a diminuição no volume e aumento na concentração dos nutrientes. A evaporação da urina humana foi realizada, utilizando urina fresca e estocada. A urina fresca foi coletada com o apoio do grupo de pesquisa da UFES e a estocada de um reservatório de 200L localizado na ETE - UFES. Foram utilizados dois recipientes para cada tipo de urina, sendo que em um deles foi adicionado ácido sulfúrico concentrado a fim de minimizar a perda de amônia. A taxa de evaporação foi de 2,3 a 2,8L/m².d. Quanto aos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg), o resíduo formado ao final apresenta concentrações significativas em quantidades que chegam a 91% das concentrações desses nutrientes nos fertilizantes artificiais. Após a evaporação a média foi de 21 Kg de material residual para 500 Kg de urina líquida. Conclui-se que utilizar a evaporação para esses fins é bastante interessante do ponto de vista econômico e técnico.

Abstract

The recycle of nutrients between the urban and cultivating areas, is a critical stage in direction to the sustainable ecological development. Most of the nutrients that are essential in agriculture (N, P, K) is founded in human urine and, mostly, its total amount is more appropriate than the found ones in artificial fertilizers. The purpose of the present work is the quali-quantitative characterization, the evaluation of the types of storage (open, closed and aerated) and the evaporation utilized as technique of volume reduction and concentration of nutrients. For this, a stage of characterization was carried out, with urine of men, women, aged and children. The results of the characterization, analyzing volume and concentration of nutrients, show that the per capita urine production is around 1,23L/d for men, women and aged and in 0,7L/d for children, and, in all, the urine presents 7,5g/L of nitrogen, 0,5g/L of phosphorus and 1,6g/L of potassium. Talking now about the storage types, the use in closed reservoirs was the type most efficient in the biological and physical chemistry stabilization process, because there wasn't ammonia volatilization loss, and also there wasn't possible contaminations for influence of the external environment, and the concentration of the nutrients in this type was more satisfactory. The levels of thermo tolerant coliforms tended practically null in a period of 15 days and at ambient temperature. The evaporation process consisted in the use of the solar energy as only source of heat, and thus, occurring a volume reduction and an concentration increase of the nutrients. The evaporation of urine human occurred using fresh and stored urine. The fresh urine was collected with the support of the group of research of the UFES and the stored urine of a reservoir of 200L located in ETE - UFES. Two containers for each type of urine had been used, and in one of them was added concentrated sulfuric acid in order to minimize the loss of ammonia. The evaporation rate was 2,3 to 2,8L/m².d. As to the nutrients (N, P, K, Ca and Mg), the final residue obtained, presents significant amounts concentrations around 91% of the concentrations of these nutrients in artificial fertilizers. After evaporation, the average was of 21 kg of residual material for 500 kg of liquid urine. So, conclude that is sufficiently interesting of the economic and technical point of view to aim for the use of the evaporation process.

Lista de Figuras

Figura 3-1 – O ciclo dos nutrientes de acordo com o Ecosan	24
Figura 3-2 – As cores das águas.....	25
Figura 3-3 – Vaso compartimentado (sistema separador)	26
Figura 3-4 – Quantidade de nutrientes da urina no esgoto sanitário.....	27
Figura 3-5 – Mictório Feminino.....	29
Figura 3-6 – Mictório Masculino	29
Figura 3-7 – Vaso Compartimentado	29
Figura 3-8 – Esquema do sistema de gerenciamento de águas na edificação/ UFES	30
Figura 3-9 – Caminhão de transporte da urina.....	30
Figura 3-10 – Tanques de estocagem de urina.....	31
Figura 3-11 - Evolução do pH da urina durante a estocagem em duas formas de reservação.....	33
Figura 3-12 – Aplicação da urina na lavoura	34
Figura 3-13 – Tanque classe "A"	37
Figura 3-14 – Cristais de estruvita.....	40
Figura 3-15 – Cristais de hidroxiapatita.....	40
Figura 4-1 – Prédio localizado no parque experimental do Núcleo Água.....	47
Figura 4-2 – Frascos plásticos	48
Figura 4-3 – Reservatório.....	48
Figura 4-4 – Reservatórios	50
Figura 4-5 – Disposição dos recipientes para evaporação.....	51
Figura 4-6 – Casa de vegetação da ETE-UFES.....	52
Figura 5-1 – Variação do pH ao longo da estocagem	58
Figura 5-2 – Variação da condutividade	59
Figura 5-3 – Concentração da amônia	60
Figura 5-4 – Concentração de NTK.....	60
Figura 5-5 – Concentração de fósforo total	61
Figura 5-6 – Coliformes termotolerantes na urina	62
Figura 5-7 – pH na urina	62

Figura 5-8 – Variação de peso na urina fresca nos dois testes.....	63
Figura 5-9 - Variação de peso na urina fresca com ácido nos dois testes	63
Figura 5-10 – Variação de peso na urina estocada nos dois testes	64
Figura 5-11 – Variação de peso na urina estocada com ácido nos dois testes.....	64
Figura 5-12 – Variação de volume na urina fresca nos dois testes com a comparação teórica	65
Figura 5-13– Variação de volume na urina fresca com ácido nos dois testes com a comparação teórica	65
Figura 5-14 – Variação de volume na urina estocada nos dois testes com a comparação teórica	65
Figura 5-15 – Variação de volume na urina estocada com ácido nos dois testes com a comparação teórica.....	65
Figura 5-16 – Variação de temperatura do município e da casa de vegetação no primeiro teste	66
Figura 5-17 – Variação de temperatura do município e da casa de vegetação no segundo teste	66
Figura 5-18 – Variação da temperatura nos diferentes tipos de urina no primeiro teste	67
Figura 5-19 – Variação da temperatura nos diferentes tipos de urina no segundo teste	67
Figura 5-20 – Umidade relativa do ar e a temperatura média no primeiro teste.....	68
Figura 5-21 – Umidade relativa do ar e a temperatura média no segundo teste.....	68
Figura 5-22 – Comportamento do pH durante a evaporação no primeiro teste	68
Figura 5-23 – Comportamento do pH durante a evaporação no segundo teste.....	68
Figura 5-24 – Variação do pH na urina fresca nos dois teste.....	69
Figura 5-25 – Variação do pH na urina estocada nos dois teste	69
Figura 5-26 – Variação de pH na urina fresca com ácido nos dois teste	70
Figura 5-27 – Variação de pH na urina estocada com ácido nos dois teste.....	70
Figura 5-28 – Concentrações iniciais na urina e concentrações finais de potássio, nitrogênio e fósforo	71

Lista de Tabelas

Tabela 3-1 - Norma sueca para utilização da urina na agricultura em grandes sistemas.....	33
Tabela 3-2 - Nutrientes na urina humana e a quantidade de fertilizante necessária para produzir 250Kg de grãos/ano.....	43
Tabela 5-1 - Resultados quantitativos.....	54
Tabela 5-2 - Quantidade de nutrientes na urina por sexo e faixa etária.....	55
Tabela 5-3 - Quantidade de nutrientes na urina.....	55
Tabela 5-4 - Quantidade de nutrientes excretados por dia.....	55
Tabela 5-5 - Quantidade de nutrientes excretados diariamente com base em valores médio.....	56
Tabela 5- 6 - Quantidade média de nutrientes excretados por dia encontrados em cada faixa etária.....	56
Tabela 5-7 - Comparação da carga de nutrientes excretados por dia com valores de esgoto.....	57
Tabela 5-8 - Concentração de nutrientes.....	70
Tabela 5-9 - Massas iniciais e finais em porcentagem.....	71
Tabela 5-10-Nutrientes na urina humana e a quantidade de fertilizante de fertilizante necessária para produzir. 250Kg de grãos/ano.....	72

Lista de Símbolos

%	Porcentagem
[CO(NH ₂) ₂]	Uréia
°C	Grau Celsius
µm	Micrômetro
Ca	Cálcio
d	Dia
g	Grama
h	Hora
H ₂ PO ₄ ⁻ ou HPO ₄ ²⁻	Superfosfatos
hab	Habitante
K	Potássio
Kg	Quilograma
K-total	Potássio Total
L	Litro
m	Metro
max	Máximo
mg	Miligrama
mg	Miligrama
min	Mínimo
min	Minuto
mL	Mililitro
mS/cm	Milisiemens por centímetro
N	Nitrogênio
n	Número de amostras
N ₂	Nitrogênio molecular
NaCl	Cloreto de sódio
NH ₄ ⁺	Íons amônio
NMP/100 ml	Número mais provável por 100 mililitro
N-total	Nitrogênio Total
P	Fósforo

pKs	Produto de solubilidade
P-total	Fósforo Total
SO ₄ ⁻	Sulfato
unid	unidade
Mi	Massa inicial
Mf	Massa final

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
coef var	Coeficiente de variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Desv. Padrão	Desvio Padrão
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ECOSAN	Saneamento Ecológico
ES	Espírito Santo
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETP	Evapotranspiração potencial padrão
GL	Gay-Lussac
LABSAN	Laboratório de Saneamento da UFES
NBR	Norma Brasileira
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Saneamento Básico
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
WHO	Organização Mundial de Saúde

Sumário

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 A ESCASSEZ DA ÁGUA.....	22
3.2 SANEAMENTO ECOLÓGICO (ECOSAN)	23
3.3 PROPOSTAS DE GERENCIAMENTO DE CORES DAS ÁGUAS DE ACORDO COM O ECOSAN	25
3.4 ÁGUAS AMARELAS	26
3.4.1 Origem	26
3.4.2 Características Qualitativas da Urina	27
3.4.3 Características Biológicas	28
3.4.4 Características Quantitativas da Urina	28
3.4.5 Etapas do gerenciamento proposto pelo Ecosan	28
3.4.5.1 Dispositivos de Coleta.....	29
3.4.5.2 Dispositivos de Estocagem e Transporte	30
3.4.5.3 Tratamento	32
3.4.5.4 Aplicação	34
3.4.6 Tratamentos Possíveis	34
3.4.6.1 Estocagem.....	34
3.4.6.2 Redução de Volume	35
a) <i>Evaporação</i>	35
3.4.6.3 Recuperação de Nutrientes	39
3.4.6.3.1 <i>Estruvita e Hidroxiapatita</i>	39
a) <i>nos seres humanos e animais</i>	39
b) <i>no esgoto</i>	40
c) <i>na urina humana</i>	40

3.4.6.4 Higienização.....	41
3.4.7 Disposição na Agricultura.....	42
3.4.7.1 Exemplos.....	43
3.4.7.2 Normas.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	46
4.2 CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DA URINA HUMANA.....	47
4.2.1 Coleta.....	47
4.3 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA URINA HUMANA.....	49
4.3.1 Análises Físico-químicas.....	49
4.3.2 Análise Microbiológica.....	49
4.3.3 Análises Estatísticas.....	49
4.4 ESTUDO DE TÉCNICAS DE ESTOCAGEM E REDUÇÃO DE VOLUME.....	49
4.4.1 Estocagem.....	49
4.4.1.1 Procedimento.....	50
4.4.2 Evaporação.....	50
4.4.2.1 Procedimento.....	51
4.4.2.2 Casa de Vegetação.....	51
4.4.2.3 Monitoramento.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	53
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA URINA HUMANA.....	53
5.2.1 Aspectos Quantitativos.....	53
5.2.2 Frequência urinária.....	54
5.2.3 Aspectos Qualitativos.....	54
5.2.3.1 Concentração de nutrientes na urina.....	54
5.2.3.2 Carga de nutrientes excretados diariamente na urina.....	55
5.2.3.3 Influência da urina na composição físico-química de esgotos sanitários.....	56
5.2.3.4 Desperdício de água.....	57
5.3 EFEITO DA ESTOCAGEM SOBRE A COMPOSIÇÃO DA URINA.....	57
5.3.1 Análises físico-químicas.....	57

a) pH.....	57
b)condutividade elétrica.....	58
c)cloreto e sulfato.....	59
d)amônia.....	59
e)fósforo.....	60
5.3.2 Análise Microbiológica.....	61
a)coliformes termotolerantes.....	61
5.4 ANÁLISES DA EVAPORAÇÃO.....	63
5.4.1 Variação de massa e de volume ao longo dos testes.....	63
5.4.2 Variação de temperatura.....	65
5.4.3 Variações das características físico-químicas ao longo dos testes.....	68
6 CONCLUSÃO	73
7 RECOMENDAÇÕES	76
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS	83
ANEXO A	83

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, tem aumentado a demanda de água potável e a geração de águas residuárias no mundo, o que torna essencial a preservação da qualidade da água, controle de perdas, desperdícios e o desenvolvimento de técnicas que permitem o reaproveitamento dos subprodutos gerados.

Uma das principais fontes de consumo de água e de desperdício de nutrientes está nas residências. Em áreas densamente urbanizadas o consumo de água nas edificações pode superar os 50% do consumo total de água potável. Uma redução significativa desse consumo pode ser atingida nas residências através de técnicas racionalizadoras. Quanto aos nutrientes sabe-se que a maior parte deles, nas residências encontra-se na urina humana, com quantidades de N: P: K bastante apropriadas para o uso na agricultura e, na maioria dos casos, até melhores do que as encontradas nos fertilizantes artificiais (SIDA, 1995).

O reaproveitamento do esgoto doméstico, gerado em áreas urbanas, possibilita o reciclo de nutrientes em áreas agrícolas cultiváveis. Em geral só existe fluxo num sentido, ou seja, os alimentos são fornecidos de áreas agrícolas para áreas urbanas, não havendo retorno de nutrientes naturais da área urbana para a agricultura. Dessa forma é necessária a utilização de fertilizantes artificiais, que na maioria das vezes contém metais pesados e outros resíduos perigosos. Se todos esses nutrientes fossem recirculados, o uso desses fertilizantes poderia ser reduzido entre 35% a 45%, sendo que somente a urina poderia substituir de 20% a 25% (JÖNSSON, 1994 apud LIND, 2001).

A utilização da urina pode ser feita sob a forma líquida ou na forma de cristais de estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) e hidroxiapatita. Sendo assim, iniciativas ecológicas baseadas na separação da urina vêm sendo propostas para se alcançar o máximo de recuperação e recirculação de nutrientes que não contenham resíduos perigosos e que apresentam, além disso, como vantagem a redução da eutrofização nos ecossistemas costeiros.

Para a utilização da urina como fertilizante é necessário mudanças nos sistemas hidráulicos de casas e edifícios, com a utilização de tubulações distintas que atenda os vasos sanitários, sendo uma para as águas negras, que inclui as águas marrons (fezes), urina e papel higiênico e outra apenas para as águas amarelas (urina), conduzindo-as a reservatórios separados.

Dentro deste contexto, esta pesquisa promoveu a caracterização quali-quantitativa, e estudou processos de reutilização da urina humana com vistas ao seu aproveitamento como fertilizante natural agrícola.

2.OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar de forma sistemática e analítica a urina humana no aspecto qualitativo, bem como estudar as formas de estocagem e técnicas de redução de volume e concentração de nutrientes, objetivando seu reaproveitamento como fertilizante natural e agrícola.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar quantitativamente a urina humana
 - Caracterizar qualitativamente a urina humana através de análises físico-químicas e microbiológicas.
 - Avaliar como as formas de estocagem (aberta, fechada e aerada) afetam a qualidade da urina.
 - Estudar as técnicas de redução de volume e concentração de nutrientes (evaporação).
-

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ESCASSEZ DA ÁGUA

A escassez de água no mundo é agravada em virtude da desigualdade social e da falta de manejo e usos sustentáveis dos recursos naturais.

As diferenças registradas entre os países desenvolvidos e os em desenvolvimento chocam e evidenciam que a crise mundial dos recursos hídricos está diretamente ligada às desigualdades sociais (CETESB, 2006).

O volume total de água na Terra não aumenta nem diminui: é sempre o mesmo, na natureza, a água e a umidade se encontram em contínua circulação, fenômeno conhecido como ciclo hidrológico.

A população compreende cerca de 6 bilhões de pessoas que, com outros seres vivos, repartem essa água. Cada pessoa gasta por dia, em média, 40 litros de água: bebendo, tomando banho, escovando os dentes, lavando as mãos, etc. Um europeu gasta de 140 a 200 litros de água por dia, enquanto um norte-americano gasta entre 200 e 250 litros. Em algumas regiões, como a África, o consumo médio por pessoa é de 15 litros por dia. (IDEC, 2006).

Segundo a Unicef (Fundo das Nações Unidas para a Infância), menos da metade da população mundial tem acesso à água potável. A irrigação corresponde a 73% do consumo de água, 21% vai para a indústria e apenas 6% destina-se ao consumo doméstico (CETESB, 2006).

Dentre as estratégias utilizadas atualmente para reduzir o consumo de água pela população pode-se citar 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 e os registros de fechamento automático de torneiras,

chuveiros e mictórios e a utilização de fontes alternativas de água (ANNECCHINI, 2005).

3.2 SANEAMENTO ECOLÓGICO (ECOSAN)

Os conceitos convencionais centralizados para o abastecimento de água e esgoto, 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 reúso da água, bem como a reciclagem dos nutrientes (SASSE, 2005).

Ecosan é um conceito proveniente dos países nórdicos, principalmente a Suécia, usado para saneamento ecológico, é uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencional com sustentabilidade econômica baseado na ciclagem de matérias. O ecosan (figura 3-1) pode ser realizado por uma variedade de tecnologias de baixo custo com soluções eficientes.

Idealmente, os sistemas ecológicos do saneamento permitem a recuperação completa de todos os nutrientes das fezes, urina e águas cinza, beneficiando a agricultura e minimizando riscos da poluição e da saúde da água, bem como permitir o uso econômico da água e seu reúso máximo, particularmente com a finalidade da irrigação. O saneamento ecológico é frequentemente usado para se referir ao ciclo fechado, que inclui a reutilização dos nutrientes (MANILA, 2003)

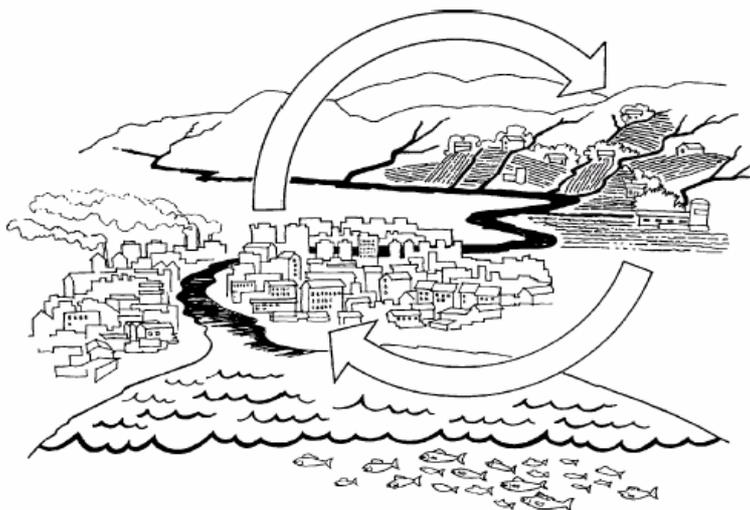


Figura 3-1: O Ciclo dos nutrientes de acordo com o Ecosan.
Fonte: ESREY, 1998.

As soluções oferecidas pelo saneamento convencional consideram que o meio ambiente pode processar infinitamente os nossos resíduos, e ainda, transferem os problemas para as comunidades ribeirinhas, além de atuar apenas na transformação do estado da matéria e na transferência de um estágio bioquímico para outro. O saneamento ecológico, ao contrário, minimiza a necessidade de recursos externos e reduz a liberação de resíduos do sistema para o meio ambiente. O Ecosan pode contribuir para a segurança alimentar, reduzir a poluição e melhorar o gerenciamento das águas, dos solos e dos nutrientes (ESREY, 1998).

O saneamento ecológico é uma alternativa para evitar as desvantagens dos sistemas convencionais de esgoto. O paradigma do Eco Saneamento é baseado nos caminhos naturais dos ecossistemas e no ciclo fechado de materiais. As excretas humanas (fezes e urina) bem como as demais águas residuárias domésticas são reconhecidas como um recurso, que pode ser disponível para o reuso (LANGERGRABER e MUELLEGGGER, 2005). O reuso de águas amarelas (urina) é parte integrante desse ciclo, pois promove a economia de água e reduz a poluição no meio ambiente.

3.3 PROPOSTAS DE GERENCIAMENTO DE CORES DAS ÁGUAS DE ACORDO COM O ECOSAN

Sabe-se que a palavra esgoto, em seu sentido amplo, caracteriza os despejos oriundos dos mais diversos usos da água. O esgoto de uma comunidade é originado através de três fontes distintas: a primeira diz respeito à contribuição doméstica, incluindo residências, instituições públicas e comércio, a segunda é aquela que adentra a rede por infiltração através de tubos defeituosos, e por fim a terceira refere-se aos despejos industriais (BORGES, 2003).

Em se tratando dos esgotos domésticos, o Ecosan propõe que os efluentes sejam separados e representados cada um por uma cor de acordo com suas características (figura 3-2).

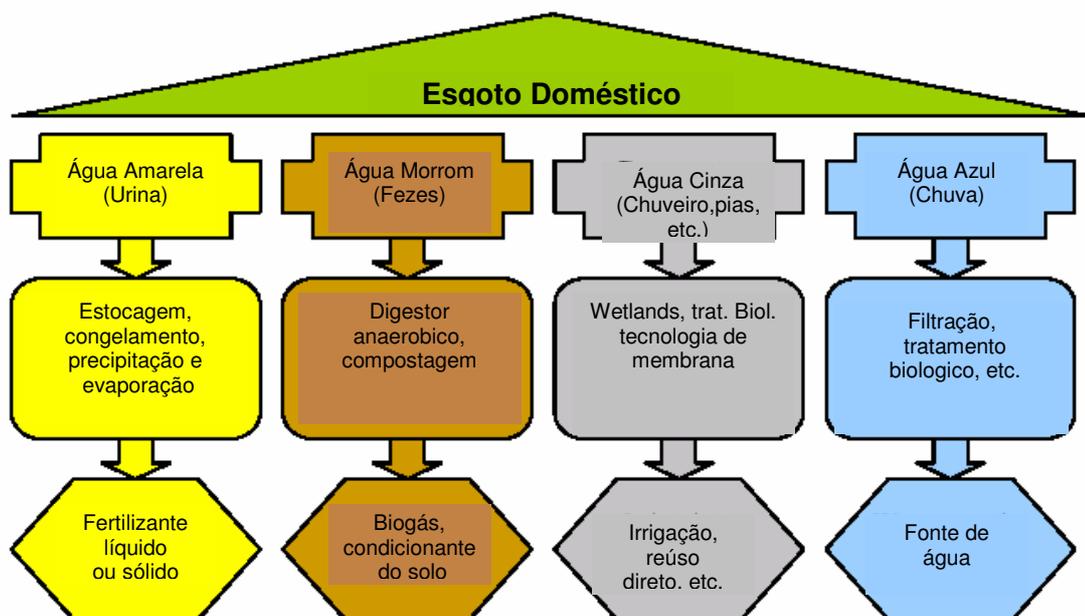


Figura 3-2: As cores das águas.
Fonte: adaptado de GANROT, 2005

A caracterização destes diferentes tipos de águas residuárias é de fundamental importância para o sucesso dos projetos de reúso. Quanto mais informação se obtiver do efluente, melhor se poderá caracterizá-lo e, assim, escolher o tratamento mais adequado, atendendo os requisitos de qualidade exigidos para o reúso que se deseja.

3.4 ÁGUAS AMARELAS

Águas amarelas é o termo usado para urina, quando coletada separada das fezes e reutilizada, não como um simples efluente, mas como fertilizante natural agrícola.

3.4.1 Origem

Segundo Johansson (2000), as técnicas de separação da urina, já são utilizadas há muitos anos em diferentes partes do mundo. Na China, por exemplo, a urina é separada em toaletes simples e coletada para uso como fertilizante na própria propriedade e também aproveitam as fezes separada da urina.

A Suécia é um dos pioneiros na produção de sistemas separadores de urina, essas técnicas começaram a ser desenvolvidas há mais de 30 anos, na década de 90 foi construído o primeiro sistema separador de urina de porcelana (figura 3-3). Em 1995 concluíram as eco-vilas, onde todas as casas possuem sistemas separador, com intuito de facilitar o tratamento, reduzindo a quantidade de água que é desperdiçada com a descarga (JOHANSSON, 2000).



Figura 3-3: Vaso compartimentado (sistema separador.)
Fonte:, JOHANSSON 2000

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 ao solo e plantas (GONÇALVES, 2006).

3.4.2 Características Qualitativas da Urina

A urina humana é uma solução complexa de água contendo concentrações de sais e nutrientes. O cloreto de sódio (NaCl) e a uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] são os principais deles, mas também estão presentes o potássio (K), cálcio (Ca), os sulfatos (SO_4), e o fósforo (P). O fósforo é disponível como superfosfatos (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}) e o potássio como um componente iônico (K^+) (LIND et al, 2001). Em torno de 80% do nitrogênio total da urina, está na forma de uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] e o restante está em forma de nitrogênio inorgânico, orgânico e amônia. Diariamente a excreção de uréia em adultos varia entre 11,8 e 23,8 g e a relação entre nitrogênio total e uréia é de aproximadamente 0,8 (FITTSCHEN E HAHN, 1998).

A urina é a fração que contém a maior parte de nutrientes do esgoto sanitário, aproximadamente 80% de nitrogênio, 55% de fósforo e 60% de potássio (figura 3-4). Ao mesmo tempo constitui menos de 1% do volume desse esgoto convencional (JOHANSSON, 2000).

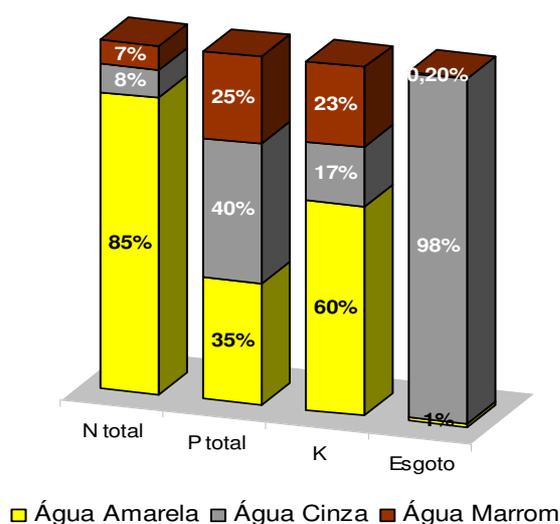


Figura 3-4. Quantidade de nutrientes da urina no esgoto sanitário.
Fonte: adaptado de JOHANSSON, 2000

Segundo Udert et al (2003) com a eliminação da urina no esgoto doméstico os níveis de carbono e nitrogênio ficam praticamente balanceados. Dessa forma as bactérias que degradam a matéria orgânica podem absorver todo conteúdo de nitrogênio e o excesso de fósforo que permanece após o tratamento biológico pode ser facilmente reduzido.

3.4.3 Características Biológicas

Em um indivíduo saudável a urina é estéril na bexiga. Quando transportada fora do corpo, bactérias do próprio corpo são arrastadas e a urina recentemente excretada contem normalmente <10 000 bactérias/mL de bactérias (TORTORA *et al.*,1992 apud SCHÖNNING, 2001).

A Urina contem poucos patógenos, enquanto as fezes contém muito mais. Armazenar urina sem diluição por um mês renderá uma urina segura para o uso na agricultura. A urina sem diluição fornece um ambiente mais áspero para micro-organismos, o que aumenta a taxa de mortalidade dos patógenos e impedindo produção de mosquitos (ESREY, 1998).

3.4.4 Características Quantitativas da Urina

O volume de urina que é excretado pelo corpo humano varia tanto de pessoa para pessoa quanto de um dia para o outro. As razões principais dessa flutuação são devido às quantidades de líquido ingerido e as perdas por transpiração. De acordo com estudos feitos por Raunch et al (2003) o volume médio de urina diário por pessoa adulta é de aproximadamente 1,5L. Valores muito próximos também foram obtidos por Bazzarella et al (2005) e Fittscher & Hermann (1998) encontrando como volume médio 1,25L e 1,57L respectivamente.

3.4.5 Etapas do gerenciamento proposto pelo Ecosan

A etapas propostas pelo Ecosan para o gerenciamento da urina são:

- Coleta;
 - Estocagem;
-

- Transporte;
- Tratamento;
- Aplicação.

3.4.5.1 Dispositivos de Coleta

Os dispositivos utilizados para coleta da urina são os vasos sanitários compartimentados e os mictórios masculinos e femininos (Figuras 3-5, 3-6 e 3-7). Os vasos sanitários compartimentados diferem dos comuns, por possuir duas bacias, uma bacia na dianteira para urina e outra na parte de trás para fezes. O tamanho e o projeto da bacia e a técnica de nivelamento variam de um modelo para outro (JOHANSSON, 2000).



Figura 3-5: Mictório Feminino



Figura 3-6: Mictório Masculino

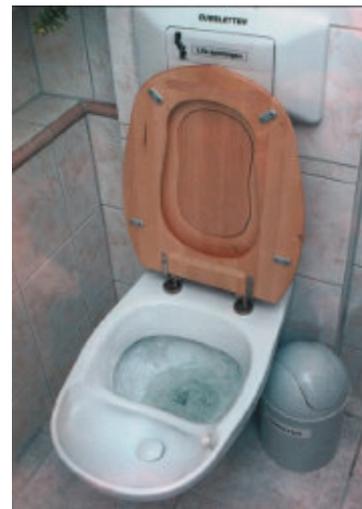


Figura 3-7: Vaso compartimentado.

O primeiro vaso compartimentado de porcelana foi criado na Suécia no início da década de 90, com o intuito de se instalar em casas de grupos “alternativos” com interesse no meio ambiente (eco-vilas) e em casas de veraneio. Hoje em dia também são instalados em casas comuns, em apartamentos e muitas escolas em diferentes partes do país (JOHANSSON, 2000).

Para a utilização da urina como fertilizante é necessário mudanças nos sistemas hidráulicos de casas e edifícios, com a utilização de tubulações distintas que atenda os vasos sanitários, sendo uma para as águas negras, que inclui as águas marrons

(fezes), urina e papel higiênico e outra apenas para as águas amarelas (urina), conduzindo-as a reservatórios separados. A figura 3-8 mostra um exemplo de um sistema hidro-sanitário de uma edificação com sistema de reuso, localizada no Parque Experimental de Saneamento Básico da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

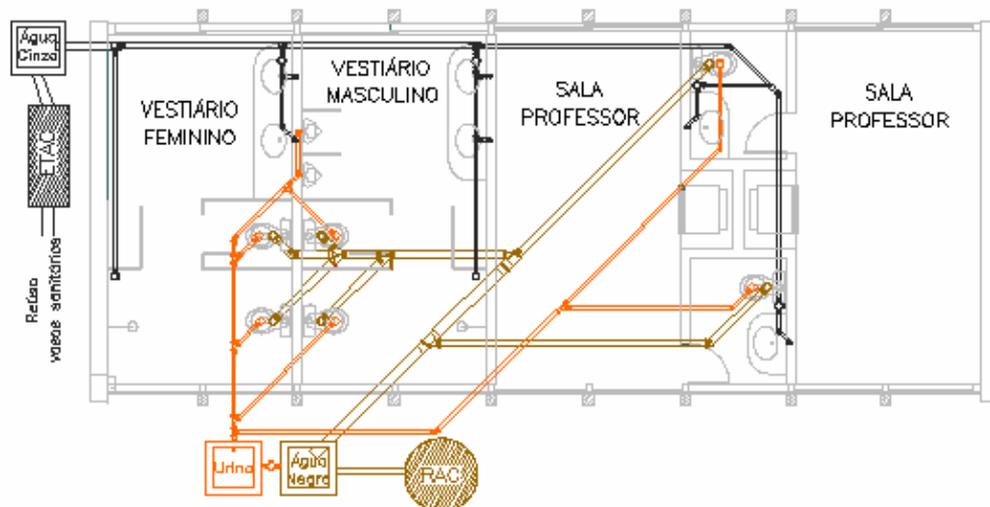


Figura 3-8: Esquema do sistema de gerenciamento de águas na edificação / UFES.

3.4.5.2 Dispositivos de Estocagem e Transporte

Na Suécia, onde o sistema é mais desenvolvido, a urina é coletada e depois removida pelos próprios fazendeiros ou por contratantes, através de um caminhão tanque ou caminhão de sucção, que utiliza a urina como fertilizante (Figura 3-9) (JOHANSSON, 2000).



Figura 3-9: Caminhão de transporte da urina.
Fonte: JOHANSSON, 2000.

O transporte é uma etapa crítica no que diz respeito ao bom desempenho do processo, desde a coleta até sua utilização.

Os sistemas separadores de urina consomem menos energia do que os sistemas convencionais, considerando que a estação de tratamento assegura uma remoção eficiente do nitrogênio e que a urina não vai ser transportada por caminhão de sucção por mais de 95 quilômetros ou 220 quilômetros de caminhão reboque. Sistemas de separação da urina aumentam o consumo de diesel e outros combustíveis, mas reduzem o consumo de eletricidade nas estações de tratamento e da energia utilizada na produção de fertilizante mineral (JOHANSSON, 2000).

Na propriedade a urina é estocada em tanques (Figura 3-10) feitos de borracha na parte externa, que são herméticos, requer pouco trabalho de construção, tem preço razoavelmente fixado e minimizam as perdas de nitrogênio durante o armazenamento. Se necessário podem ser removidos (JOHANSSON, 2000).



Figura 3- 10: Tanques de estocagem de urina.
Fonte: JOHANSSON, 2000.

A urina é armazenada nos tanques a fim de minimizar possíveis riscos higiênicos e também por ficar disponível em um lugar próximo ao dos cultivos, facilitando sua aplicação. Para melhor eficiência, o fertilizante deve ser aplicado durante o verão antes da próxima safra.

3.4.5.3 Tratamento

A urina humana é totalmente estéril na bexiga, mas quando é eliminada para fora do corpo bactérias são arrastadas, contaminando-a, então como não possui grandes quantidades de microorganismos, pode ser adicionada ao solo. Na Suécia a técnica usada tem sido armazenar a urina por um período de tempo para que não haja nenhum microorganismo, pois a época de sobrevivência desses microorganismos não é muito alta, principalmente em países tropicais onde a temperatura é mais elevada (MITSCHERLICH E MARTH, 1984 APUD TANSKI, 2003).

Os principais processos de tratamento das águas amarelas, objetivando-se sua reciclagem na agricultura, são a estocagem em reservatórios fechados por períodos de tempo pré-determinados, a concentração para redução de volume e a precipitação de cristais (hidroxiapatita e estruvita). Dentre estes, a prática mais comum é a estocagem da urina, necessária para reduzir os riscos biológicos da sua utilização na agricultura. Embora ao sair dos rins de indivíduos sãos a urina seja desprovida de patógenos, a contaminação é possível na saída da uretra. Durante a estocagem, a liberação da amônia e do bicarbonato causa um importante aumento do pH da urina, podendo ocasionar precipitação de cristais de inorgânicos como estruvita, calcita e hidroxiapatita (HAP). Causa ainda a inativação de microorganismos, sobretudo quando os valores atingem pH maior do que 8,5, o que, dependendo da temperatura ambiente, pode ocorrer em poucas semanas (Figura 3-11). No exemplo em questão, referente a pesquisas realizadas na UFES, constatou-se que houve um crescimento de coliformes termotolerantes e *E.coli* na urina até os 20 primeiros dias de estocagem, chegando a praticamente zero ao final dos 30 dias (GONÇALVES, 2006).

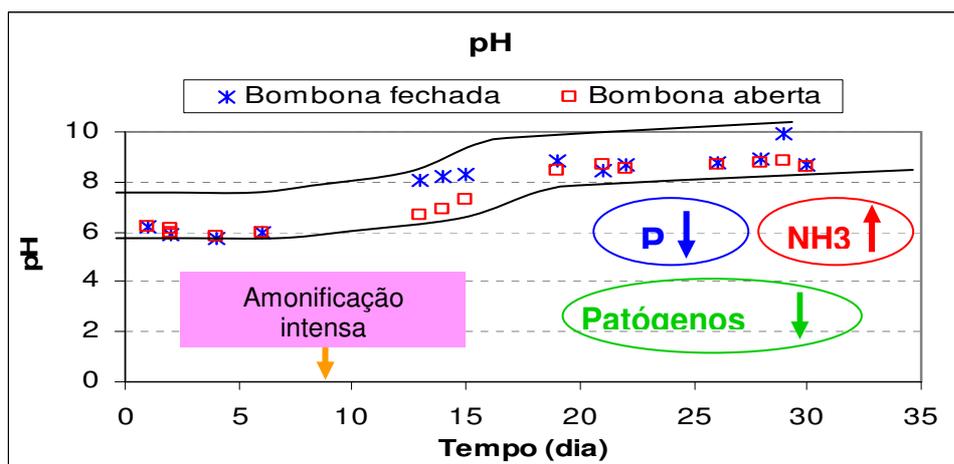


Figura 3-11: Evolução do pH da urina durante a estocagem em duas formas de reservação.

FONTE: BAZZARELLA *et al*, 2005

O governo Sueco estabeleceu normas quanto à temperatura e o período de estocagem para determinados tipos de cultivos, com o intuito de que a urina humana possa ser utilizada com segurança, minimizando assim o risco de transmissão de doenças infecciosas (Tabela 3-1).

Tabela 3-1: Norma sueca para a utilização da urina na agricultura em grandes sistemas ^(a) (SCHÖNNING, C., 2004).

Temperatura de estocagem (°C).	Tempo de estocagem (meses)	Possíveis patógenos presentes na urina após estocagem ^(b)	Cultivos recomendados
4	≥ 1	Vírus e protozoários	Alimentos cultivados e forragem que serão processados.
4	≥ 6	Vírus	Alimentos cultivados que serão processados, forragem ^(c) .
20	≥ 1	Vírus	Alimentos cultivados que serão processados, forragem ^(c) .
20	≥ 6	Provavelmente nenhum	Todo tipo de cultivo ^(d) .

a) "Grandes sistemas" – significa que a urina humana é utilizada para cultivos que serão consumidos por outras pessoas que não os próprios geradores da mesma.

b) Bactérias gram-positivas e que formam esporos não incluídas.

c) Exceto pastagens para a produção de alimento para animais.

d) No caso de produtos consumidos crus é recomendada a fertilização com urina de forma descontínua, pelo menos um mês antes da colheita, e com a incorporação da urina no solo.

3.4.5.4 Aplicação

Sabe-se agora que a urina humana pode ser um substituto para o fertilizante químico sem causar nenhum efeito adverso significativo na colheita ou no meio ambiente.

Como qualquer outro fertilizante, é importante espalhar uniformemente a urina em quantidades apropriadas. Geralmente, a técnica usada para espalhar a urina é a mesma para o adubo líquido (Figura 3-12) (JOHANSSON, 2000).



Figura 3-12: Aplicação da Urina na lavoura.
Fonte: JOHANSSON, 2000.

3.4.6 Tratamentos Possíveis

3.4.6.1 Estocagem

A estocagem que é um processo convencional de armazenamento da urina, para torná-la estéril e estabilizada físico-química e biologicamente, também possibilita a precipitação. No entanto, é um processo que necessita de um período de pelo menos seis meses estocada, em reservatórios escuros e fechados, com o intuito de

que a urina humana possa ser utilizada com segurança, minimizando assim o risco de transmissão de doenças infecciosas.

3.4.6.2 Redução de Volume

a)Evaporação

A dessalinização pode ser feita através de vários processos que removem o sal adicional e outros minerais. A dessalinização é muito comum no oriente, por causa da alta salinidade das águas e nas Caraíbas, e está crescendo rapidamente nos EUA, no Norte da África, na Espanha, na Austrália e na China. É usado também em navios e em submarinos.

A evaporação é um dos processos utilizados pela dessalinização. É o processo físico no qual um líquido ou sólido passa ao estado gasoso devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular e turbulenta. Além da radiação solar, outras variáveis como: temperatura do ar, vento e pressão de vapor, também interferem na evaporação principalmente em superfícies livres de água.

A evaporação da superfície líquida envolve sempre o transporte simultâneo de massa e energia. Dessa forma os fatores essenciais para a ocorrência da evaporação são: a disponibilidade de energia para converter a água líquida em vapor e o mecanismo de transporte entre a superfície e a atmosfera (FONTES, et al, 2004)

É um erro dizer que somente existe vapor d'água a 100 °C a 1 atm. As moléculas de água estão em um estado constante de evaporação e condensação perto da superfície da água. Se uma molécula na superfície da água recebe energia suficiente, ela deixará o líquido, com formação de vapor a uma certa pressão. A uma pressão de vapor de 1 atm, a água acaba fervendo, e isto ocorre a 100 °C.

A medida direta da evaporação da água exige a utilização de um reservatório, onde o nível da água possa ser medido com precisão. A diferença das alturas dos níveis

da água em dias consecutivos indica o total evaporado no período. Em virtude da facilidade de se medir a evaporação em tanques, esta tem sido utilizada para estimar a evaporação de lagos e de culturas. Admite-se, desse modo, que existe correlação positiva entre a evaporação d'água do tanque e aquela do lago ou da superfície vegetada. Para o caso de superfície vegetada, alguns cuidados devem ser tomados na exposição do tanque para que a medida no tanque represente, da melhor maneira possível, a perda de água pela vegetação (PEREIRA et al. 1997 apud EVANGELISTA et al., 2003).

A medida da evaporação da superfície das águas é realizada com o emprego de evaporímetros, que dão as indicações referentes a pequenas superfícies de água calma. São recipientes achatados, em forma de bandeja, de seção quadrada ou circular, com água no seu interior e instalados sobre o solo nas proximidades da massa de água cuja intensidade de evaporação se quer medir ou sobre a própria massa de água (medidores flutuantes).

A evaporação pode ser medida através de métodos diretos e indiretos.

- Métodos Diretos:

- Tanque Classe A:

Este aparelho adotado como referência pela OMM, foi desenvolvido pelo Departamento de Meteorologia dos EUA. Ele é construído em chapa de aço galvanizado ou inox, com coloração branca ou clara, cilíndrico, com cerca de 1.200 mm de diâmetro e 250 mm de profundidade (Figura 3-13). Para a medição da evaporação, enche-se o tanque com água até 50 mm da borda, sendo que o mesmo deve ser instalado sobre uma plataforma de madeira de modo que a superfície da água fique a 300 mm do chão (DUARTE, et al 2003).

Devido a sua área relativamente pequena, da absorção da radiação pelas paredes do recipiente e pelo fato dele criar seu próprio ambiente aerodinâmico ao ficar exposto acima do solo obtêm-se valores de evaporação às vezes um pouco exagerado (DUARTE et al, 2003).



Figura 3-13: Tanque Classe “A”
Fonte: DUARTE et al, 2003.

- Lisímetros

Os lisímetros, desenvolvidos há mais de 60 anos, consistem de tanques contendo solo representativo da área de interesse e são utilizados sobretudo para medir os componentes do balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas específicas. Os lisímetros podem apresentar diversas formas e sistemas de medidas, porém os que usam mecanismos de pesagem são considerados os mais precisos e sensíveis para a determinação direta da evapotranspiração, pelo balanço de massa de água. (FARIA et al.,2005)

- Métodos Empíricos

Medidas de Evapotranspiração, geralmente não existem, e em vista disso ,as estimativas baseadas em princípios físicos e fisiológicos, ou mesmo as equações empíricas que utilizam parâmetros climáticos comuns, constituem-se muitas vezes, uma única alternativa disponível.

Evapotranspiração Potencial (ETP) é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação. Serve apenas como uma referência para a evaporação máxima possível sob certas condições climáticas.

- Método de Thornthwaite (Mensal)

O método de Thornthwaite está representado pela Equação 01:

$$ETP = 16 \left(\frac{10Tn}{I} \right)^a \quad (01)$$

Em que:

ETP - evapotranspiração potencial padrão, mm/mês

Tn - temperatura média do mês, °C

I = Índice mensal de calor, igual a soma de n índices i

$$a = (6,75 \times 10^{-7} I^3) - (7,71 \times 10^{-5} I^2) + (1,79 \times 10^{-2} I) + (0,49239)$$

$$I = \sum_1^{12} i \text{ mensais, onde } i = \left(\frac{Tn}{5} \right)^{1,514}$$

- Método Combinado (Diária) : Penman-Monteith

O método de Penman-Monteith está representado pela Equação 02:

$$ETP = \frac{0,408s(Rn - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (02)$$

em que:

Rn - saldo de radiação diária, MJ m⁻² d⁻¹

G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹

γ - fator psicrométrico (0,063 kPa °C⁻¹)

U₂ - velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹

e_s - pressão de saturação de vapor, kPa

e_a - pressão parcial de vapor, kPa

s - declividade da curva de saturação do vapor d'água, kPa °C⁻¹

Segundo Wieland (1994), A evaporação da urina apresenta dois desafios principais: a perda de amônia e o consumo de energia. A perda de amônia pode ser evitada utilizando a acidificação e o consumo de energia pela utilização da energia solar.

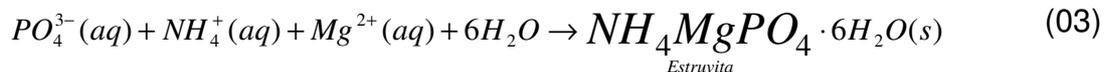
O processo de evaporação da urina consiste na utilização da energia solar como única fonte de calor para que a urina humana evapore, e assim, ocorra uma redução no volume e conseqüentemente um aumento na concentração dos nutrientes, facilitando assim, o transporte e armazenamento para utilização como fertilizante sólido na agricultura.

3.4.6.3 Recuperação de Nutrientes

3.4.6.3.1 Estruvita e Hidroxiapatita

A estruvita (Fosfato de amônio e magnésio hexahidratado), é uma substância cristalina branca, com relação molar de 1 (P): 1 (N): 1 (Mg). Ela possui baixa solubilidade em água, é altamente solúvel em soluções ácidas e altamente insolúvel em soluções alcalinas, assim a precipitação da estruvita ocorre em intervalos de pH em torno de 9,0.

A reação de precipitação da estruvita (03):



A hidroxiapatita ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) é um catalizador na decomposição de compostos orgânicos clorados, tem a capacidade de remover metais pesados. Precipita em solução supersaturada e em pH alcalino e possui alta constante de solubilidade (MAVROPOULAS, 1999).

a) nos seres humanos e animais

Para seres humanos e animais, a formação do cálculo de estruvita se dá pela infecção urinária. A urease produzida pelas bactérias como *Staphylococcus intermedius*, *Proteus* sp, *Klebsiella* sp pode causar a hidrólise da uréia produzindo amônia, elevando o pH da urina, o que causa a precipitação de Mg^{2+} como estruvita e do Ca^{2+} como apatita.

Os cálculos formados devido à infecção consistem na estruvita (fosfato de amônio e magnésio hexahidratado) e/ou apatita. A apatita começa a cristalizar-se em um nível do pH da urina de 6.8. A precipitação da estruvita somente ocorre acima do pH 7.2. Quando a urina é acidificada, a estruvita já não precipita e começa a dissolver-se. Cada pedra que contém a estruvita ou a hidroxiapatita (Figuras 3-14 e 3-15) é o resultado de uma infecção do trato urinário, dependendo da sua composição, há

várias designações para as pedras da infecção: estruvita, fosfato triplo, apatita ou hidroxiapatita (BICHLER, 2002).

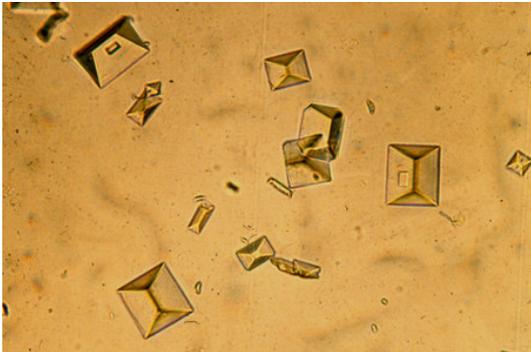


Figura 3-14: Cristais de Estruvita

Fonte: URINARY...,2005

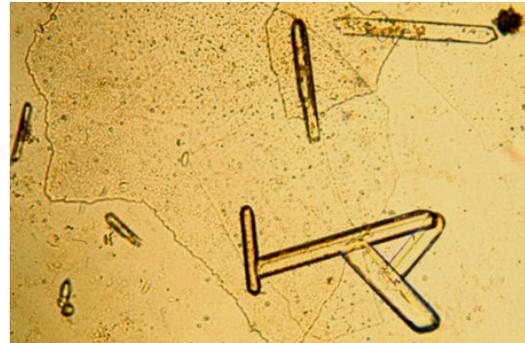


Figura 3-15: Cristais de Hidroxiapatita

b) no esgoto

Na década de 60, foi descoberto em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) de Los Angeles, um sólido branco cristalino, depositado no lado de baixo das telas de separação e nos tubos que passavam esgoto causando problemas operacionais extensivos (BORGARDING,1972 apud STRATFUL *et al*, 2001).

O bloqueio das tubulações conduz a um aumento em custos de bombeamento; enquanto o diâmetro da tubulação é reduzido, mais energia é necessária para bombear o esgoto através dos tubos. Também, aumenta o tempo para transportar o esgoto pelos tubos de um lugar a outro, reduzindo a capacidade da ETE (DOYLE *et al*, 2002).

A estruvita pode ser um problema para as estações de tratamento de esgoto, mas tem grande potencial como fertilizante agrícola.

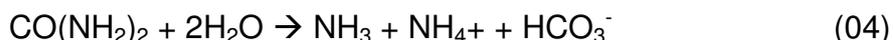
c) na urina humana

Como a urina humana é 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

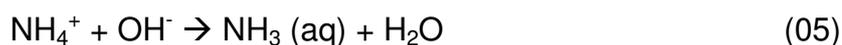
lavouras, substituindo os fertilizantes químicos. A urina humana possui quantidade apropriada de fósforo, nitrogênio, e potássio para utilização como fertilizante.

O processo da precipitação da estruvita e da hidroxiapatita, ocorre através do processo de hidrólise da uréia (nitrogênio orgânico), principal fonte de nitrogênio na urina, que sofre hidrólise catalisada pela enzima urease (uréia amidohidrolase) liberando amônia e bicarbonato (UDERT *et al*, 2003) de acordo com a equação 04:

:



Os íons amônio ficam em equilíbrio com a amônia aquosa e esta por sua vez, entra em equilíbrio com a amônia gasosa, de acordo com as reações 05 e 06:



Estas reações elevam o pH devido à formação de amônia e promovem a precipitação.

A ureálise é o fator inicial para a precipitação, mas é o aumento do pH que determina a formação do precipitado.

3.4.6.4 Higienização

Com o objetivo de reciclar os nutrientes e de minimizar a utilização de recursos naturais, a higiene deve ser dada como prioridade. Para introduzir com sucesso os sistemas alternativos é necessário avaliar os riscos à saúde e os aspectos sanitários (SCHÖNNING, 2001).

As excretas humanas contêm nutrientes essenciais para as plantas e têm potencial para ser utilizado como fertilizante. A urina contribui com a principal proporção de nutrientes encontrados no esgoto doméstico, visto que as fezes contribuem em menor quantidade e envolve maiores riscos à saúde devido a presença de

patógenos entéricos. A urina humana geralmente não contém os patógenos (HÖGLUND,2001).

O fato dos patógenos entéricos entrarem em contato com a urina é de importância vital para os riscos a saúde relacionada à manipulação e reúso da urina. Para determinar a duração e as condições para o armazenamento suficiente da urina antes do seu uso como um fertilizante, é necessário estimar a sobrevivência de vários microorganismos na urina em função do tempo (SCHÖNNING, 2001).

3.4.7 Disposição na Agricultura

A agricultura está na dianteira no consumo de água principalmente devido ao desperdício, segundo Rebouças (2003) o uso da água na agricultura ocorre de forma ineficiente, com um desperdício estimado de cerca de 60% de toda a água fornecida a este setor.

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma prática muito antiga, principalmente no sudoeste asiático e na China. Na Europa e Estados Unidos, no período entre os séculos XVI ao XIX, eram bastante conhecidas as “fazendas de esgotos”. Concebidas inicialmente para o tratamento de efluentes através da disposição dos esgotos no solo, as águas dessas fazendas eram circunstancialmente aproveitadas para a produção de culturas (METCALF & EDDY, 1991).

Diariamente, cada ser humano saudável produz as excretas que contêm os elementos químicos que são necessários e podem ser usados como fertilizante para plantas, cultivos alimentícios, ervas medicinais, plantas ornamentais, fibras naturais e outras vegetações (TANSKI *et al*, 2003).

O potencial de utilização da urina humana como fertilizante agrícola natural está expresso na tabela 3-2, que mostra a quantidade de nutrientes em quilogramas excretado na urina por uma pessoa durante um ano, em um volume em torno de 500L, comparado com a quantidade de fertilizante necessário para produzir 250

quilogramas de grãos - suficientes para suprir as necessidades calóricas e proteicas de uma pessoa adulta por um ano (WOLGAST et al, 1993). Dos 7,5 Kg de fertilizante industrial necessário para o cultivo, apenas uma pessoa poderia contribuir com 5,3 Kg, ou seja, 71% da demanda.

Tabela 3-2: Nutrientes na urina humana e a quantidade de fertilizante necessária para produzir 250Kg de grãos/ano (WOLGAST et al, 1993).

Compostos	Urina 500 L	Quantidade de Fertilizante necessária
Nitrogênio (N)	4,0 Kg	5,6 Kg
Fósforo (P)	0,4 Kg	0,7 Kg
Potássio (K)	0,9 Kg	1,2 Kg
N + P + K	5,3 Kg (71%)	7,5 Kg

Os fatores ambientais, como a salinidade elevada, fungicidas, e períodos de tempo quente, frio, e seco, também podem limitar a fixação do nitrogênio. A amônia contém muito mais energia que o N₂ livre atmosférico, para obter boa fixação do nitrogênio, a produção industrial de fertilizantes requer lotes de energia, que é um fator limitante para a sustentabilidade global. Embora o nitrogênio seja um elemento essencial para toda a vida também pode ser um poluente quando aplicado em concentração errada (TANSKI *et al*, 2003).

A urina possui índices elevados de nutrientes e de qualidade higiênica, sendo um recurso muito mais valioso que as fezes para a fertilização. Entretanto, a fração da urina utilizada na agricultura deve estar livre das fezes. A simplicidade da técnica de sua aplicação faz com que seja possível que os próprios moradores das casas usem em seu jardim ou plantações somente uma enxada e um regador, instrumentos que são comumente usados por jardineiros e também por mulheres em plantações de pequena escala (TANSKI *et al*, 2003).

3.4.7.1 Exemplos

Segundo Esrey, 1998 a urina pode ser aplicada de várias maneiras na agricultura:

- Não diluída, antes de plantar (as bactérias no solo mudam a uréia para nitrato que pode ser usado pelas plantas);

- Pode ser aplicada em grandes doses ou em doses menores diversas vezes durante a estação da colheita;
- Também pode ser aplicada diluída com água;
- A urina líquida pode ser adicionada ao solo onde os vegetais e as plantas estão crescendo;
- Uma vez por semana ou uniformemente duas ou três vezes por semana, contanto que as plantas sejam molhadas também em outras épocas;

Uma possibilidade futura, é usar a urina humana para produzir um fertilizante concentrado em pó, quando grandes quantidades de urina das áreas urbanas forem recirculadas, (ESREY,1998) . Isso já é possível utilizando a técnica da evaporação, onde toda água é evaporada, concentrando os nutrientes.

Somente alguns estudos foram feitos do uso da urina humana como fertilizante na agricultura. Conseqüentemente, há uma compreensão limitada de como assegurar o seu uso. Há, entretanto, fertilizantes comparáveis, por exemplo, a urina animal, que é aplicado na Suécia na agricultura em quantidade aproximada de 2,3 milhões de toneladas por ano. A urina humana contém mais nitrogênio e fósforo que a urina de porco e de bovinos, mas, contém menos potássio (JOHANSSON, 2001).

3.4.7.2 Normas

Diversos países têm desenvolvido diferentes alternativas para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Todavia, o fator econômico é que governa a escolha de uma estratégia, principalmente com relação aos custos do tratamento e de monitoramento. Grande parte dos países desenvolvidos estabeleceu diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizando tecnologias de alto custo, como os padrões californianos. Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional. Um grande número de países em desenvolvimento adota outra estratégia de controle dos riscos à saúde, através de tecnologias de baixo custo baseadas nas recomendações do *World Health Organization* (WHO) (GONÇALVES, 2006).

Para o reúso de águas amarelas, ainda não se tem uma legislação específica, há muito para ser feito, e assim conseguir um apoio governamental que incentive e normalize esse tipo de reúso.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi desenvolvida no Parque Experimental do Núcleo Água, localizado no Campus Universitário de Goiabeiras em Vitória (ES), sendo parte integrante do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB 5, rede temática nº 5 “Racionalização do uso da água e conservação de energia em sistema de abastecimentos públicos e em edificações, por meio de redução do consumo, e aproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água”, e foi desenvolvida entre os meses de novembro de 2005 a dezembro de 2006.

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas:

- Caracterização quantitativa da urina humana;
- Caracterização qualitativa da urina humana através de análises físico-químicas e microbiológicas;
- Avaliação da melhor forma de estocagem;
- Estudo da evaporação como técnica de concentração de nutrientes e redução de volume.

Para realização dessa pesquisa utilizou-se as instalações da Casa de Vegetação e do prédio localizado no Parque Experimental do Núcleo Água (Figura 4-1), composto por sala de professores e banheiros feminino e masculino. O prédio em questão foi projetado com sistema hidro-sanitário com tubulações distintas que atenda os vasos sanitários, sendo uma para as águas marrons (fezes) e outra para as águas amarelas (urina), conduzindo-as a reservatórios separados.



Figura 4-1: Prédio localizado no Parque Experimental do Núcleo Água.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DA URINA HUMANA

Para a realização desta etapa foram coletadas amostras individuais de urina de homens, mulheres, crianças e idosos. A urina foi armazenada em reservatórios escuros e fechados divididos individualmente.

A caracterização foi realizada, por meio de campanha com coletas individuais de urina no período de 24 horas, com um grupo de 39 pessoas, do próprio grupo de pesquisa do laboratório de saneamento da UFES (LABSAN), sendo 19 homens e 20 mulheres, em uma faixa etária de 18 a 35 anos. Além de homens e mulheres também foi analisada a urina de um grupo de 08 idosos com faixa etária entre 65 a 88 anos pais e avós de pesquisadores do LABSAN e também de 04 crianças de classe média, com faixa etária entre 02 e 10 anos.

4.2.1 Coleta

Para realizar a coleta da urina foram distribuídos frascos plásticos de 500 mL (Figura 4-2), previamente desinfetados com água sanitária e álcool a 70° GL.

A cada ida ao banheiro eram entregues os frascos aos colaboradores. Para identificar a urina individualmente, cada um recebia uma letra, na qual o frasco era identificado.



Figura 4-2: Frascos Plásticos

As amostras de cada indivíduo foram avaliadas quantitativamente sob os seguintes parâmetros físicos: volume contido em cada frasco, peso líquido de cada frasco e medição da densidade.

Foi feito ainda um somatório do volume excretado de urina para cada colaborador, a fim de se obter o volume total de urina *per capita* por dia.

A urina foi armazenada em reservatórios escuros divididos em quatro reservatórios, sendo um para urina de mulheres, um para de homens, outro para de idosos e outro para de crianças.

Os reservatórios (Figura 4-3) divididos por sexo e faixa etária, ficaram fechados durante os 30 dias de estocagem.



Figura 4-3: Reservatório.

4.3 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA URINA HUMANA

Após o término da coleta, as amostras foram acondicionadas e transportadas em reservatórios plásticos para o LABSAN, onde eram realizadas as análises.

4.3.1 Análises Físico-químicas

Para as análises qualitativas foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, cloreto, DQO, DBO₅, fósforo total, ortofosfato, uréia, nitrogênio amoniacal, NTK, metais.

As técnicas de análises laboratoriais obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19^o Edição (APHA et al, 1995) e encontram-se referenciadas no Anexo A.

4.3.2 Análise Microbiológica

O grupo de bactérias avaliado foi Coliformes termotolerantes, pelo método dos tubos múltiplos, segundo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19^o Edição (APHA et al, 1995) e encontram-se referenciadas no Anexo A.

4.3.3 Análises Estatísticas

A análise estatística dos resultados físico-químicos e microbiológicos foi realizada utilizando o software Excel para obtenção da estatística descritiva dos parâmetros analisados (média, desvio padrão, máximos, mínimos e coeficiente de variação).

4.4 ESTUDO DE TÉCNICAS DE ESTOCAGEM E REDUÇÃO DE VOLUME

4.4.1 Estocagem

Para a etapa da estocagem a campanha foi realizada com coleta de urina do grupo de pesquisa do LABSAN, sendo toda a urina (de homens e mulheres), misturadas e homogeneizadas, e após dividida em reservatórios.

4.4.1.1 Procedimento

A estocagem foi feita utilizando reservatórios de 20 litros e escuros, onde a urina foi dividida em três reservatórios, sendo um aerado, um aberto e outro fechado (Figura 4-4).

Na estocagem aberta o reservatório ficou com a tampa aberta durante todo o período, a fim de se observar se os fenômenos físicos e químicos interferem na qualidade da urina humana, as possíveis perdas de amônia por volatilização e entrada de insetos e possíveis contaminantes. No reservatório aerado foi colocado uma bomba de aeração de aquário ligada ininterruptamente com o intuito de favorecer o processo de precipitação da estruvita e hixdroxiapatita devido a turbulência. Ambos os reservatórios possuíam uma torneira, localizada a 10cm do fundo, por onde foi feita a coleta das amostras para análises.



Figura 4-4: Reservatórios.

4.4.2 Evaporação

O processo de evaporação consiste na utilização da energia solar como única fonte de calor para que a urina humana evapore, e assim, ocorra uma diminuição no volume e conseqüentemente um aumento na concentração dos nutrientes.

Foram realizados dois testes de evaporação da urina humana em outubro de 2006.

4.4.2.1 Procedimento

A evaporação da urina humana foi realizada primeiramente através da coleta de urina humana com o apoio de colaboradores do próprio grupo de pesquisa do Laboratório de Saneamento da UFES, onde a urina era coletada em pequenos frascos entregue a cada colaborador e após a coleta toda a urina era colocada em um mesmo reservatório, além da urina fresca (no máximo dois dias após a coleta), também foi utilizada urina estocada (no mínimo um mês). Foram dispostos em dois recipientes plásticos, 6,0 L de urina fresca, sendo 3,0 L em cada (Figura 4-5) e mais seis litros da urina estocada dividido em mais dois reservatórios, sendo que em um recipiente de cada tipo foi adicionada quantidade suficiente de ácido sulfúrico concentrado para que o pH ficasse abaixo de 4,0, a fim de minimizar a perda de amônia por volatilização. Foi monitorado ainda um recipiente contendo 3,0 L de água para fins de comparação. Os cinco recipientes foram colocados em uma casa de vegetação.



Figura 4-5: Disposição dos recipientes para evaporação

4.4.2.2 Casa de Vegetação

A casa de vegetação (Figura 4-6) que foi utilizada no experimento, localiza-se na ETE-UFES é do modelo teto em arco que segundo Martinez (2004) e de fácil construção, baixo custo de manutenção, possui melhor aproveitamento dos raios solares e facilidade na fixação do plástico. Suas dimensões são 6,60 m de largura, 19,40 m de comprimento e 3,30 m de altura. É adaptada com cobertura de filme de polietileno (plástico) transparente de 150 μm de espessura, e cortinas de plástico nas laterais que permitem a ventilação combinadas com grande resistência aos ventos e intempéries.



Figura 4-6: Casa de vegetação da ETE - UFES

A utilização das cortinas fechadas nas laterais em regiões com temperaturas elevadas associadas à umidade relativa alta cria um ambiente quente e úmido, favorável ao aparecimento de doenças; assim, é indispensável à abertura periódica das laterais para que haja a ventilação e remoção do ar úmido (MARTINEZ, 1997).

4.4.2.3 Monitoramento

A evaporação foi monitorada in-situ através dos seguintes parâmetros: pH, densidade, temperatura, peso e volume. Estes eram avaliados diariamente até completa evaporação da urina. Foi monitorado ainda a concentração de NTK, fósforo total e potássio. Após a evaporação também foram avaliados nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, e magnésio, além do teor de matéria orgânica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes à caracterização da urina humana, à estocagem e à evaporação da urina, nos aspectos quantitativos e qualitativos realizadas no LABSAN – UFES.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA URINA HUMANA

Neste item discute-se a caracterização quantitativa e qualitativa da urina humana, de acordo com o sexo e faixa etária. As características da urina humana serão sempre comparadas com as características obtidas por outros autores.

5.2.1 Aspectos Quantitativos

No aspecto quantitativo os resultados estão especificados na tabela 5-1, onde se observa a variação no volume de urina excretado, que varia de pessoa para pessoa, e que pode ser explicado devido à diferença de volume de água ingerido e até mesmo com as condições climáticas do dia da coleta. O volume médio encontrado da urina de homens, mulheres e idosos foi de aproximadamente 1,23L, valor bem próximo do encontrado por RAUCH et al (2003), que diz que o volume médio excretado diariamente por uma pessoa adulta é de aproximadamente 1,5L, variando entre 1,0 e 2,5L. BAZZARELLA et al (2005) e FITTSCHEN & HAHN (1998) também encontraram valores muito próximos que foram de 1,25L e 1,57L, respectivamente. O volume médio encontrado na urina de crianças foi de 0,7L, valor este, próximo ao encontrado por LAAK (1974 apud Almeida et al, 1999), que foi de 0,8 L.

Tabela 5-1: Resultados quantitativos

Amostra	Volume (L)					Coef. Var	Vol/Massa corporal
	Total	Média /pessoa	Desv. padrão	Máx.	Mín.		
Masculino (n = 19)	22,54	1,18	0,39	1,88	0,62	34%	16,3 mL/Kg.d
Feminino (n = 20)	30,49	1,52	0,73	3,31	0,58	48%	24,57 mL/Kg.d
Crianças (n = 4)	2,8	0,7	0,24	0,83	0,23	34%	20,92 mL/Kg.d
Idosos (n = 8)	12,06	1,50	0,52	2,31	0,90	34,7%	19,23 mL/Kg.d
Média	16,97	1,23	0,47	2,08	0,58	38%	20,25 ml/Kg.d

5.2.2 Freqüência Urinária

Segundo Almeida et al (1999), são eliminados 250 mL de urina *per capita* em cada ato de urinar, então se o volume médio de uma pessoa adulta é 1,5 L, pode-se calcular que a freqüência diária seja de 5 vezes, desconsiderando uma vez que seria para eliminação da urina junto com as fezes.

A análise feita com um grupo de 5 pessoas do LABSAN, constatou-se que a freqüência urinária varia de 5 a 8 vezes por dia, com uma média de 288,1 mL de urina por uso, valor próximo do encontrado por Almeida et al (1999).

5.2.3 Aspectos Qualitativos

5.2.3.1 Concentração de nutrientes na urina

Os resultados qualitativos expostos na tabela 5-2 mostram a quantidade de nutrientes de acordo com sexo e faixa etária. Analisando cada nutriente pode-se observar que o nitrogênio encontra-se em maior quantidade na urina de homens e idosos e em menor na de crianças. Já o fósforo sua maior concentração é encontrada na urina de crianças e idosos, isso devido a presenças de fósforo na formação dos dentes e ossos nas crianças e nos idosos pela suplementação de vitaminas e uso de medicamentos contendo esse componente. Quanto ao potássio,

encontram-se maiores valores relativamente próximos em todas as faixas etárias, bem como a DQO e a DBO, estas sendo um pouco mais elevada na urina de idosos.

Tabela 5-2: Quantidade de nutrientes na urina por sexo e faixa etária

Parâmetros	Urina Humana (mg/L)			
	Homem	Mulheres	Crianças	Idosos
NTK	8.284	7.609	5.290	8.558
P-total	391	244	437	558
K-total	1.981	1.619	1.579	1.470
DBO	1.600	2.500	1.987	3.150
DQO	7.901	7.252	7.904	8.526

Na tabela 5-3 estão os valores médios dessa pesquisa, e os valores médios encontrados por outros autores, onde se observa que os valores foram próximos.

Tabela 5-3: Quantidade de nutrientes na urina

Parâmetros	Urina Humana (mg/L)					
	Valor médio dessa pesquisa	Bazzarella et al (2005)	Udert at al (2003) (modificado)	Johansson at al (2001) (modificado)	Wolgast (1993) apud Ganrot (2005) (modificado)	Swedish EPA (1995) apud Schönning (2001) (modificado)
NTK	7.435	10.844	5.810	5.000 - 10.000	11.200	7.300
P-total	407	350	367	400 - 900	800	700
K-total	1.662	-	2.170	800	2000	1.700
DBO	2.309	1.871	-	-	-	-
DQO	7.896	7.147	-	-	-	-

5.2.3.2 Carga de nutrientes excretados diariamente na urina

A quantidade de nutrientes na urina humana varia de acordo com sexo e faixa etária (tabela 5-4), sendo encontrados em menor quantidade na urina de crianças e em quantidade maior na de idosos, se comparada com a urina de adultos.

Tabela 5-4: Quantidade de nutrientes excretados por dia

Parâmetros	Urina Humana (g/hab.dia)			
	Homem	Mulheres	Crianças	Idosos
NTK	9,8	11,6	3,7	15,7
P-total	0,5	0,4	0,3	1,0
K-total	3,0	2,5	1,1	2,7
DBO	2,4	3,8	3,03	4,8
DQO	12,0	11,1	12,1	13,0

A tabela 5-5 mostra os resultados da contribuição da urina humana em relação a valores médios encontrados na literatura. Comparando os valores médios da urina encontrados por outros autores, observa-se que a quantidade de nutrientes excretados foram bem próximas ao valor médio dessa pesquisa.

Tabela 5-5: Quantidade de nutrientes excretados diariamente com base em valores médios

Parâmetros	Urina Humana (g/hab.dia)				
	Valor médio dessa pesquisa	Altman and Dittmer (1974) apud Ganrot (2005)	Fittschen e Hahn (1998)	Bazzarella et al (2005)	Andersson & Jessen (2002) apud Jösön et al (2005)
NTK	10,2	15,1	10,8	11,5	11,0
P-total	0,5	0,8	0,9	0,6	0,9
K-total	2,3	2,4	-	-	2,4
DBO	3,5	-	6,1	2,2	6,0
DQO	12,0	-	13,0	9,3	10,2

A tabela 5-6 relaciona a eliminação de nutrientes em relação ao peso e dia mostra que embora haja variação na quantidade de urina excretada por dia entre homens e mulheres em relação às crianças e idosos, a quantidades de nutrientes (N, P e K) não apresenta grandes diferenças, sobretudo em relação ao nitrogênio e potássio. Quanto ao fósforo a diferença é mais acentuada, sendo maior na urina de crianças e idosos.

Tabela 5-6: Quantidade média de nutrientes excretados por dia em cada faixa etária.

Parâmetros	Urina Humana (mg/Kg.d)				
	Homem	Mulheres	Crianças	Idosos	Altman and Dittmer (1974) apud Ganrot (2005)
NTK	135	196	148	190	215
P-total	6	6	12	12	12
K-total	41	41	44	32	34

5.2.3.3 Influência da urina na composição físico-química de esgotos sanitários

No sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, utilizado na maioria dos projetos realizados no Brasil, a urina em sua maior parte é eliminada na rede de esgoto e com ela macronutrientes importantes utilizados na fertilização. Na tabela 5-7 observa-se os valores médios da urina em relação ao sexo e a faixa etária com os valores de esgoto doméstico. A carga média de fósforo no esgoto é de 1,2g/hab.d e o valor encontrado na urina foram equivalentes a 57% da carga de fósforo, já a

média de nitrogênio que no esgoto é de 9,5g/hab.d, o valor encontrado corresponde a mais de 90%. Quanto à carga de matéria orgânica, a DQO, que no esgoto fica entre 100-120g/hab.d, a urina contribui com apenas 10%, e a DBO que oscila entre 50-60g/hab.d representa 7% to total.

Tabela 5-7: Comparação da carga de nutrientes excretados por dia com os valores de esgoto.

Parâmetros	Urina Humana (g/hab.d)	Esgoto doméstico bruto (g/hab.d)	
	Valor médio dessa pesquisa	Von sperling (1996)	ATV apud Fittschen & Hahn (1998)
NTK	10,2	8	11
P-total	0,54	1	2,5
DBO	3,57	50	60
DQO	12,91	100	120

5.2.3.4 Desperdício de água

De acordo com Von Sperling (2005), o valor médio de água consumida por pessoa é de 160 L/hab.dia, cada descarga consome em média 6 L de água e mais 250 mL de urina, se toda a urina fosse recirculada, esse consumo pode ser reduzido em quase 20%.

5.3 EFEITO DA ESTOCAGEM SOBRE A COMPOSIÇÃO DA URINA

5.3.1 Análises físico-químicas

a) pH

Durante os 30 dias em que a urina ficou estocada, em ambas as formas de estocagem o pH aumentou até atingir valores próximos de 9,0 (Figura 5-1). A taxa de variação do pH entre os dias 5 e 8 foi muito parecida no três reservatórios; com 0,47unid/dia para o aerado e 0,51 e 0,52 para o aberto e fechado respectivamente, esse valor representa a fase em que o pH se eleva até chegar próximo de 9,0, se mantendo praticamente constante.

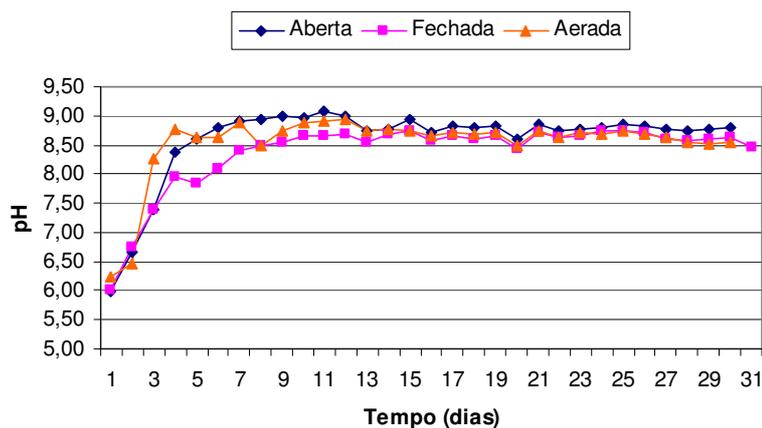


Figura 5-1: Variação do pH ao longo da estocagem.

O aumento do pH é devido à formação de amônia, que é explicado pelo processo de hidrólise da uréia catalisada pela enzima urease, liberando amônia e bicarbonato.

O valor de amônia em mols, suficientes para elevar o pH da urina a 9,0 é em torno de 0,20 mol/L na aberta, 0,23 mol/L na fechada e 0,16 mol/L na aerada, de acordo com a simples reação (07). Considerando também que a reação da uréia é muito mais complexa e que possui outros produtos como o bicarbonato que também elevam o pH.



Em estudos realizados por Stratful et al (2001), em pH abaixo de 8.0 nenhum cristal é produzido em quantidades detectáveis. Em pH 8,5 e 9,0 92% do magnésio foi removido da solução e 85% do fósforo foi incorporado aos cristais.

b) condutividade elétrica

A condutividade elétrica (Figura 5-2) no reservatório aberto, variou em uma faixa de 17,2 - 40,2 mS/cm, permanecendo durante o maior tempo na faixa em torno de 44,2. No reservatório aerado, variou de 16,6 - 30,6 mS/cm. No fechado a condutividade variou de 17,3 - 49,0 mS/cm, onde foi observado um aumento mais constante. Os reservatórios aberto e aerado apresentaram uma menor condutividade em virtude da perda de amônia por volatilização, causando assim, uma diminuição na concentração de íons amônio (NH_4^+).

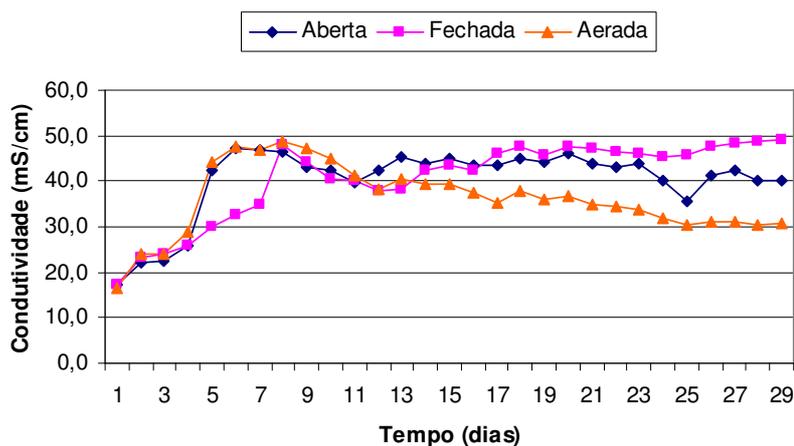


Figura 5-2: Variação da condutividade.

A condutividade elétrica está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. 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 estocagem, devido a hidrólise da uréia.

c) cloreto e sulfato

Nas águas superficiais são fontes importantes às descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca de 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L (LIMA,2005).

As concentrações de cloreto ficaram em torno de 5,0 – 6,0 g/L, confirmando que a urina apresenta concentrações elevadas de sais de cloreto.

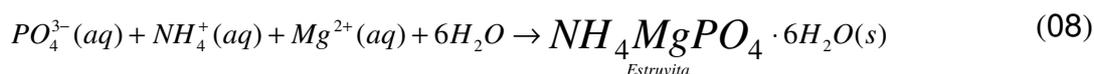
As concentrações de sulfato variaram de 0,67 a 1,0 g/L, valores próximos ao encontrado por Jönsson (2005), que foi de 0,4 a 0,55 g/L.

d) amônia

Quanto ao nitrogênio, de acordo com as reações a uréia (principal fonte de nitrogênio orgânico), principal fonte de nitrogênio na urina, sofre um processo de

hidrólise catalisada pela enzima urease (uréia amidohidrolase) liberando amônia e bicarbonato.

Estas reações, como dito anteriormente promovem um aumento no pH devido à formação de amônia, explicam o processo de volatilização da amônia e a formação dos cristais, pois a estruvita tem em sua composição amônia, magnésio e fosfato, como mostra a equação 08.



Depois de 30 dias estocada verificou-se que a concentração de amônia no recipiente fechado foi de aproximadamente 5000mg/L, enquanto que no reservatório aberto e aerado a concentração foi de 1800mg/L e 2000mg/L respectivamente. Ao final da estocagem há uma queda nos três reservatórios, devido a precipitação dos cristais, mas há uma perda ainda mais significativa nos reservatórios aberto e aerado por volatilização (Figura 5-3).

Comparando as figuras 5-3 e 5-4, observa-se que ao final da estocagem quase todo nitrogênio orgânico está na forma de amônia. E o valor de NTK no reservatório fechado foi de 5100 mg/L bem próximo ao encontrado por outros autores, como, Johansson (2001), que encontrou 5000 – 10000 mg/L e Udert (2003), em torno de 5810 mg/L.

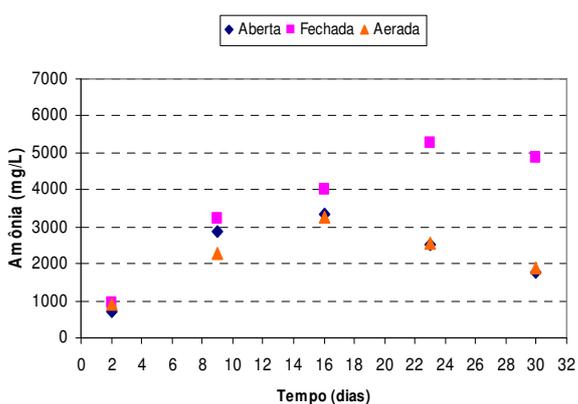


Figura 5-3: Concentração da Amônia

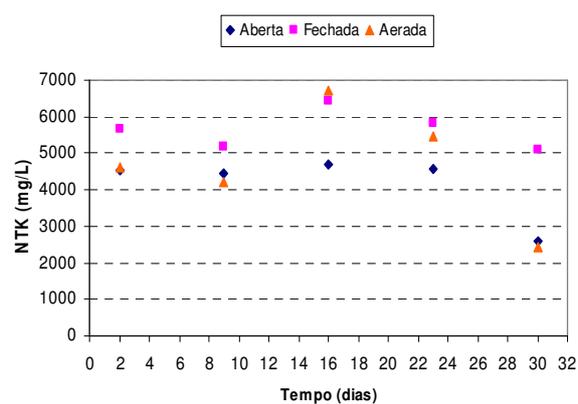


Figura 5-4: Concentração de NTK

e) fósforo

O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários e se encontra na urina humana predominantemente na forma de ortofosfato (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}). Desta forma, a diminuição na concentração do fósforo (Figura 5-5) pode ser explicada devido à precipitação na forma de ortofosfato, em pH alcalino. Essa redução indica a formação dos cristais de hidroxiapatita, que tem sua precipitação iniciada em pH mais baixo e dependente apenas do cálcio, que já está na urina e também a precipitação da estruvita, que se inicia com pH mais elevado e após a liberação da amônia, o que explica a diminuição mais elevada de fósforo após a terceira semana de análise, essa precipitação também foi explicada por Bichler (2002).

Quanto ao reservatório aerado, o objetivo esperado com a aeração não foi satisfatório. A remoção de fósforo foi muito parecida com os demais reservatórios e a perda de amônia por volatilização foi muito próxima a apresentada pelo reservatório aberto devido a ventilação no interior do reservatório.

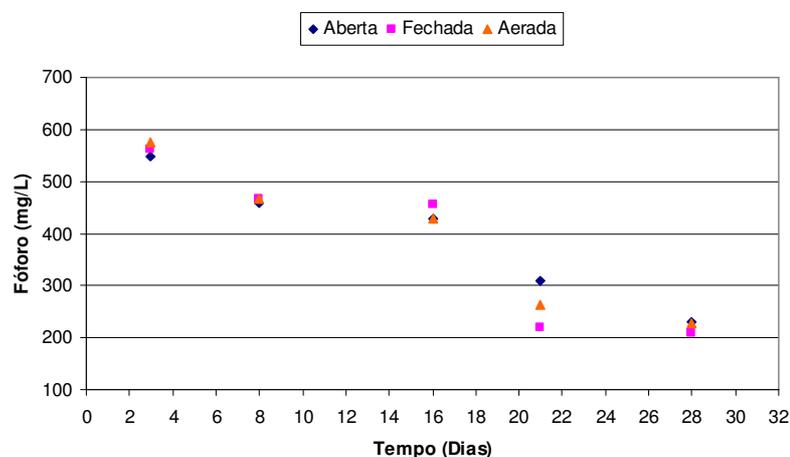


Figura 5-5: Concentração de Fósforo Total

Ao final da estocagem os valores encontrados foram de 229 mg/L na aberta, 207 mg/l na fechada e 227 mg/L na aerada, valores próximos ao encontrado por JOHANSSON (2001) que foi de 240 mg/L.

5.3.2 Análise Microbiológica

a) coliformes termotolerantes

No aspecto microbiológico, foi identificada presença de coliformes termotolerantes no início da estocagem com concentrações em torno de 10^{10} , na segunda semana já se observa uma queda de 7 logs, devido ao aumento do pH que a partir do quinto dia já está acima de 8,0. Após 15 dias o decaimento foi praticamente nulo em todos os reservatórios, devido sobretudo à variação do pH, causada pelo aumento na concentração de amônia. Os parâmetros microbiológicos de Bazzarella, et al (2005), tiveram comportamento semelhante ao obtido nessa pesquisa, valores mais elevados foram encontrados nos primeiros dias e chegando a valores menores que 1 NMP/100ml em aproximadamente 20 dias. O pH de Bazzarella et al (2005) só atingiu valores acima de 8,0 a partir do dia 15, o que explica a presença de coliformes até o dia 21. Os resultados estão apresentados nas figuras 5-6 e 5-7.

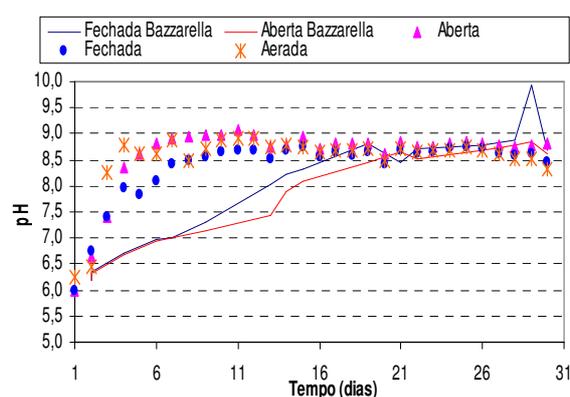
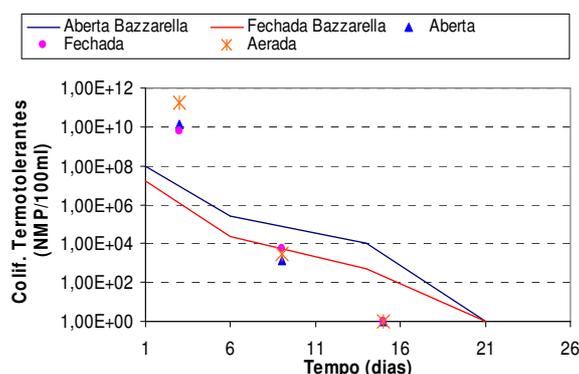


Figura 5-6: Coliformes termotolerantes na urina. Figura 5-7: pH na urina

Em relação à análise microbiológica, constatou-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 bactéria do grupo coliformes, o que ocorre é sua contaminação da urina na saída da uretra. Esse número elevado é devido ao crescimento de microorganismos na urina estocada em temperatura ambiente, como explicado por Silva *et al* (2005) as bactérias presentes em baixas densidades numa amostra não preservada, podem se multiplicar na urina, elevando suas contagens para valores superiores a 10^5 com extrema facilidade, especialmente em se tratando de bactérias de crescimento rápido como as enterobactérias. Entretanto há algumas restrições, pois a técnica utilizada de tubos múltiplos não é específica para coliformes termotolerantes. Há crescimento também de outras bactérias, como as aeromonas, então não se pode saber se todos os

microorganismos encontrados são patogênicos. Pode-se sugerir o emprego da técnica utilizando substrato cromo-fluorogênico com quantificação por meio de cartelas, conforme metodologia descrita em APHA (1998), pois é uma técnica mais específica, onde se avalia coliformes totais, que incluem *E.coli*, que é um indicador de patogenicidade.

5.4 ANÁLISES DA EVAPORAÇÃO

5.4.1 Variação de massa e de volume ao longo dos testes.

As figuras 5-8, 5-9, 5-10 e 5-11 mostram os gráficos relativos as variações de peso das duas etapas em cada tipo de urina. Observa-se que independente do tipo de urina a diminuição do peso foi linear. No período do primeiro teste as temperaturas ficaram entre 22,5° e 26,5°C e no segundo teste entre 22° e 27,5°C. No recipiente com água colocado para comparação, observou-se que o tempo utilizado para evaporação da urina foi semelhante ao da água.

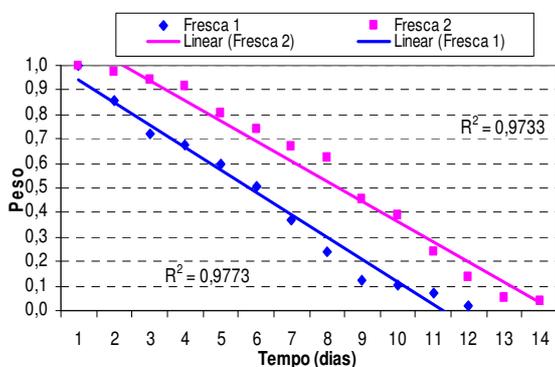


Figura 5-8: Variação de peso na urina fresca nos dois testes.

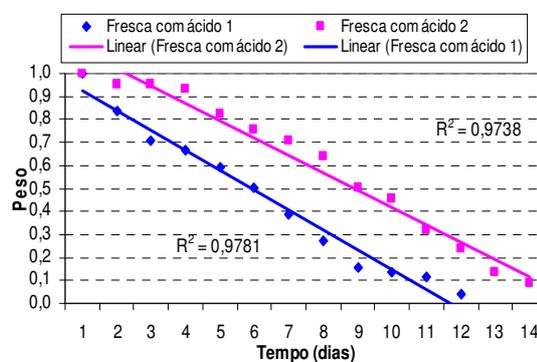


Figura 5-9: Variação de peso na urina fresca com ácido nos dois testes.

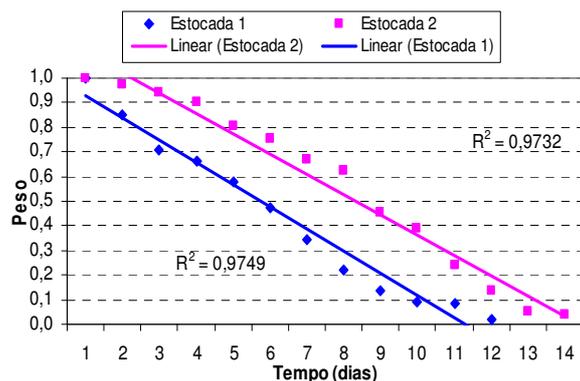


Figura 5-10: Variação de peso na urina estocada nos dois testes.

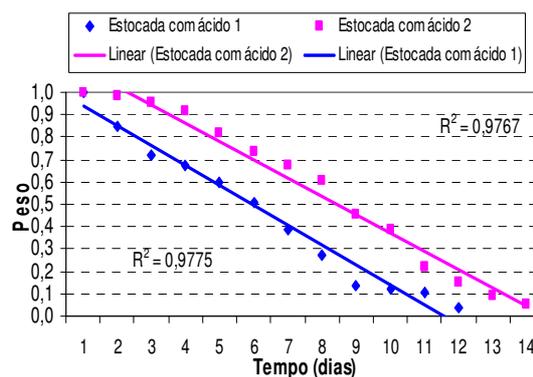


Figura 5-11: Variação de peso na urina estocada com ácido nos dois testes.

Através do método de Thornthwaite é possível medir a evaporação potencial padrão em mm/mês e o volume evaporado por dia conforme a área (Equação 09).

$$ETP = 16 \left(\frac{10Tn}{I} \right)^a \quad (09)$$

Em que:

ETP - evapotranspiração potencial padrão, mm/mês

Tn - temperatura média do mês, °C

I = Índice mensal de calor, igual a soma de n índices i

$$a = (6,75 \times 10^{-7} I^3) - (7,71 \times 10^{-5} I^2) + (1,79 \times 10^{-2} I) + (0,49239)$$

$$I = \sum_1^{12} i \text{ mensais, onde } i = \left(\frac{Tn}{5} \right)^{1,514}$$

O ETP do mês de outubro/2006, foi de 128,95mm/mês utilizando as temperaturas da casa de vegetação e de 89,38 mm/mês utilizando as temperaturas do município.

Analisando o ETP teórico do município, e considerando o recipiente utilizado nessa pesquisa (área: 0,09m²) em condições climáticas de até 70% dos dias sem chuva, a taxa de evaporação seria de 2,1L/m².d. Supondo que essa pesquisa fosse realizada em área aberta, a taxa de evaporação seria de 1,6 a 1,9L/m².d. A taxa de evaporação encontrada com o ETP teórico da casa de vegetação seria de 4,2L/m².d e nessa pesquisa a taxa por dia ficou entre 2,3 e 2,8L/m².d.

As figuras 5-12, 5-13, 5-14 e 5-15 mostram as variações de volume e a linha tracejada mostra o resultado teórico utilizando o ETP da casa de vegetação, em

relação à área do recipiente de estocagem. O resultado foi o esperado durante todo o período, houve redução de volume utilizando apenas a luz solar.

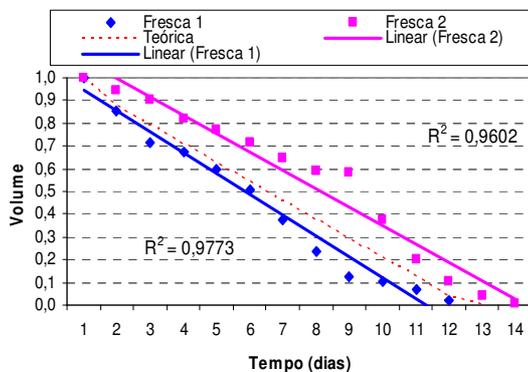


Figura 5-12: Variação de volume na urina fresca nos dois testes com a comparação teórica.

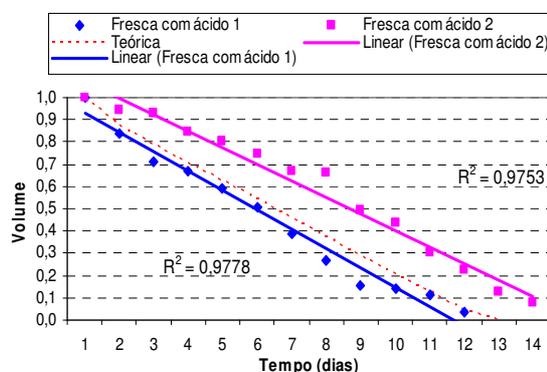


Figura 5-13: Variação de volume na urina fresca com ácido nos dois testes com a comparação teórica.

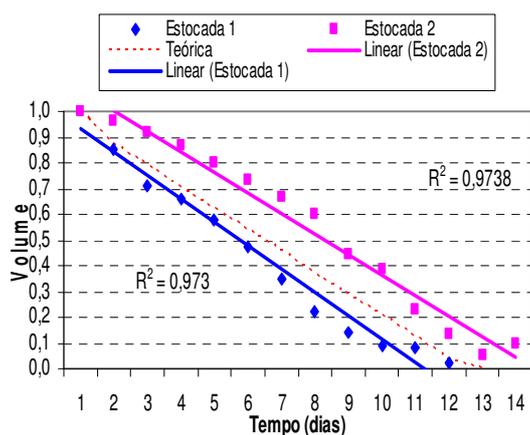


Figura 5-14: Variação de volume na urina estocada nos dois testes com a comparação teórica.

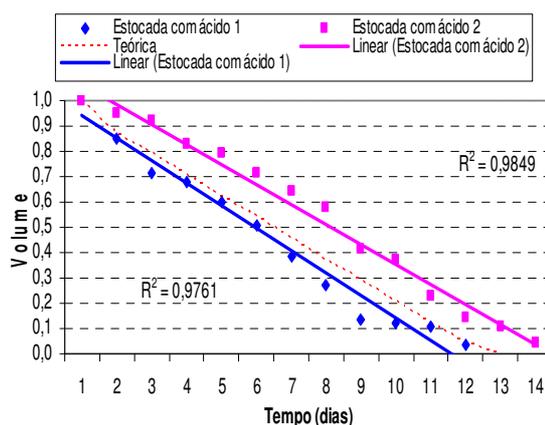


Figura 5-15: Variação de volume na urina estocada com ácido nos dois testes com a comparação teórica.

5.4.2 Variação de temperatura

Nas figuras 5-16 e 5-17 observa-se as variações de temperatura do município em relação à temperatura da casa de vegetação do primeiro e segundo teste.

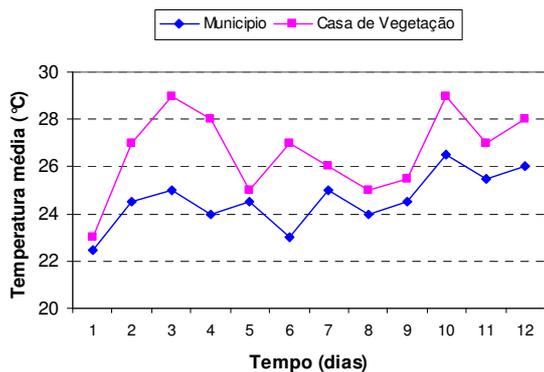


Figura 5-16: Variação de temperatura do município e da casa de vegetação no primeiro teste.

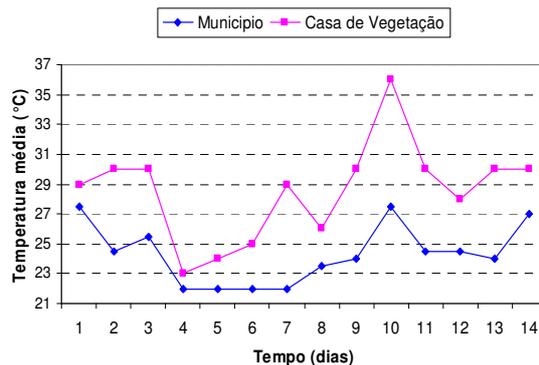
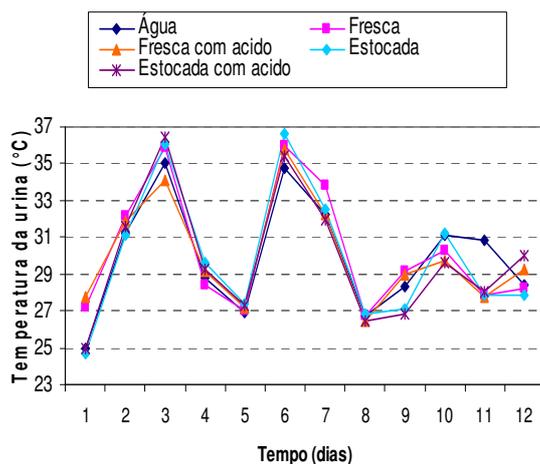


Figura 5-17: Variação de temperatura do município e da casa de vegetação no segundo teste.

Os resultados mostram que a temperatura média na casa de vegetação foi de 26,5°C no primeiro teste e 28,5°C no segundo e a temperatura média da urina ficou em 30°C e 30,4°C no primeiro e segundo teste respectivamente.

Comparando as temperaturas dos tipos de urina (Figuras 5-18 e 5-19) com as perdas de volume, observa-se que os dias de temperaturas mais elevadas como nos dias 2 e 3 e os dias 6 e 7 no primeiro teste, se obteve perda de volume de 0,390L e 0,380L na fresca, 0,425L e 0,330L na fresca com ácido, 0,480L e 0,370L na estocada e 0,480L e 0,310L na estocada com ácido respectivamente. No teste dois pode-se observar que entre os dias 9 e 11, onde se obteve altas temperaturas, a perda de volume na fresca atingiu 1,14L, 0,575L na fresca com ácido, 0,662L na estocada e 0,560L na estocada com ácido.



5-18: Variação da temperatura nos diferentes tipos de urina no primeiro teste.

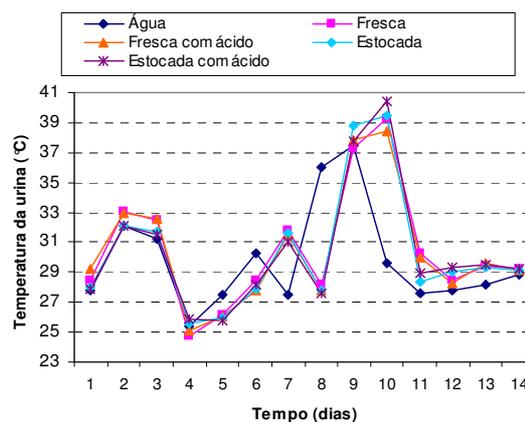


Figura 5-19: Variação da temperatura nos diferentes tipos de urina no segundo teste.

Observando as figuras 5-12, 5-13, 5-14 e 5-15 verificamos que as taxas de evaporação em volume para todos os recipientes foram muito próximas, sendo de 271mL/dia em média para os recipientes no primeiro teste e de 223mL/dia para o segundo, essa diferença é devido a temperatura na casa de vegetação que foi maior durante o período do primeiro teste. A perda em massa foi de 267g/dia em média para os recipientes do primeiro teste e 221g/dia para os do segundo. A perda de massa em porcentagem do início ao fim da evaporação foi 97% e 94% para o primeiro e segundo teste. Em porcentagem a perda de volume ao final da evaporação foi de 95% no primeiro teste e 94% no segundo.

As figuras 5-20 e 5-21 mostram a relação temperatura x umidade relativa do ar, onde se sabe que a temperatura é inversamente proporcional a umidade relativa do ar, ou seja, para se obter uma maior evaporação, são necessárias altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar.

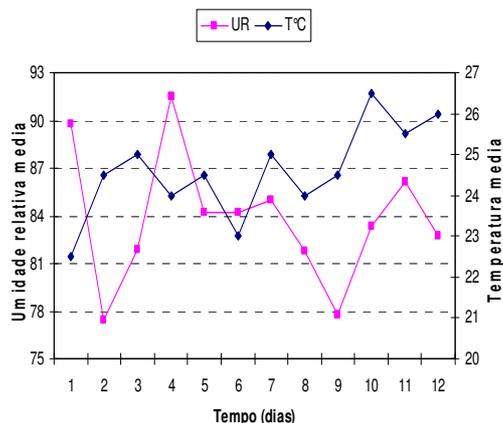


Figura 5-20: Umidade relativa do ar e a temperatura média no primeiro teste.

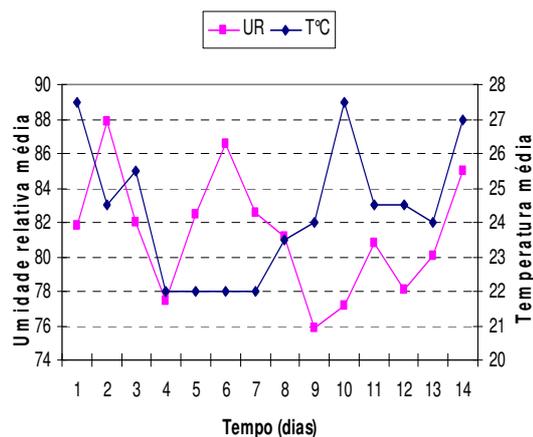


Figura 5-21: Umidade relativa do ar e a temperatura média no segundo teste.

5.4.3 Variações das características físico-químicas ao longo dos testes.

O pH (Figuras 5-22 e 5-23) teve aumento durante todo o processo e nos dois testes devido à conversão do nitrogênio orgânico a nitrogênio amoniacal, tendo um decréscimo nos últimos dias o que indica a grande perda de amônia.

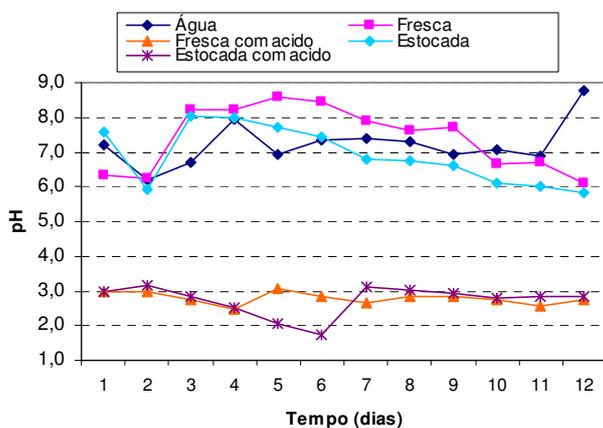


Figura 5-22: Comportamento do pH durante a evaporação no primeiro teste.

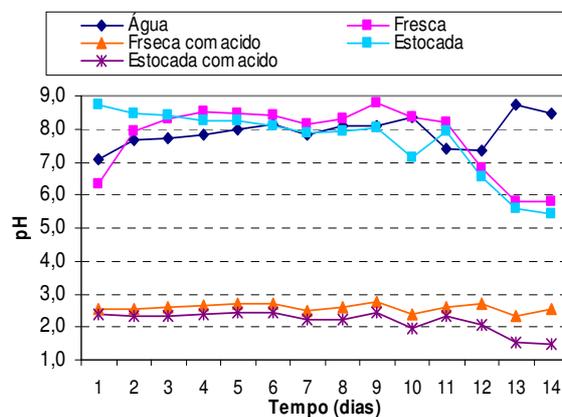


Figura 5-23: Comportamento do pH durante a evaporação no segundo teste.

Pode-se dizer ainda que a adição do ácido sulfúrico em dois dos recipientes foi eficiente no sentido de que toda a amônia proveniente da hidrólise da uréia ter sido neutralizada, não causando um aumento no pH.

Comparando os dois testes realizados com urina fresca, o pH se manteve em torno de 8,0 a 8,5 por maior tempo, caindo ao final devido a volatilização da amônia (Figura 5-24).

Na urina estocada o pH inicial era de 7,5 no primeiro teste e 8,5 no segundo, esse pH alcalino é pelo tempo de estocagem, se mantendo por um período acima de 8,0 e caindo no decorrer da evaporação nos dois testes, devido à perda de amônia (Figura 5-25).

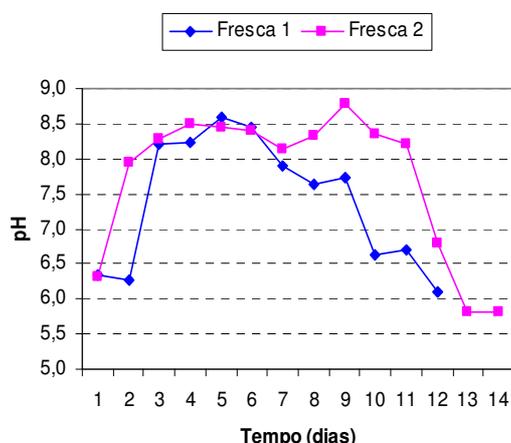


Figura 5-24: Variação do pH na urina fresca nos dois testes

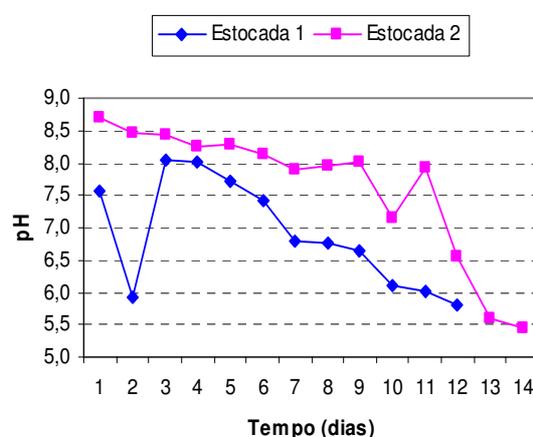


Figura 5-25: Variação do pH na urina estocada nos dois testes.

Nos reservatórios com urina acidificada, o ácido sulfúrico adicionado manteve o pH abaixo de quatro durante todo o processo. O ácido sulfúrico em contato com a amônia forma sulfato de amônia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Na urina fresca com ácido o pH se manteve entre 2,5 e 2,9, o que já era esperado devido a acidificação (Figura 5-26). Na urina estocada com ácido o resultado também foi o esperado e o pH se manteve por maior tempo entre 2,0 e 3,0 (Figura 5-27).

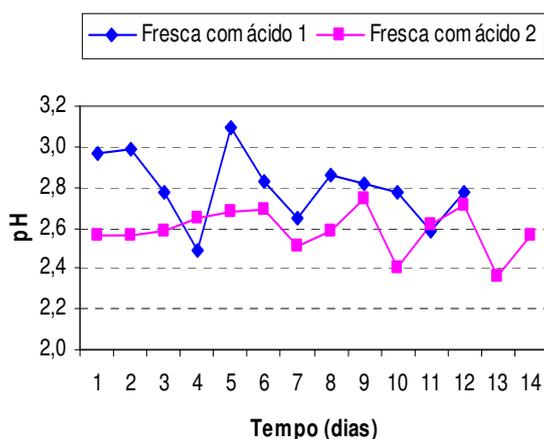


Figura 5-26: Variação de pH na urina fresca com ácido nos dois testes

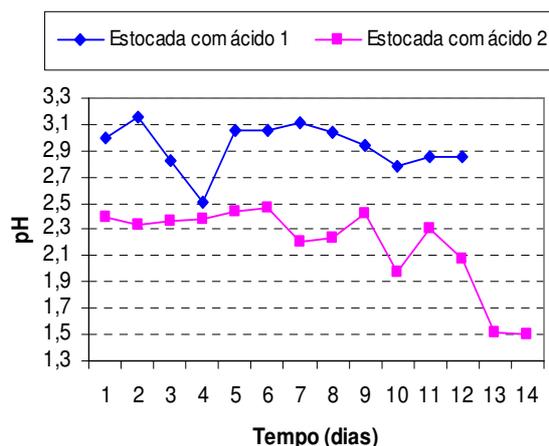


Figura 5-27: Variação de pH na urina estocada com ácido nos dois testes

Quanto à concentração de nutrientes, a concentração de nitrogênio e fósforo e dos outros nutrientes apresentaram quantidades bem apropriadas para ser utilizadas como fertilizantes, elas estão relacionadas na tabela 5-8 e a matéria orgânica atingiu quase 50% do resíduo final.

Tabela 5-8: Concentração de nutrientes

	Concentração de Nutrientes (g/L)				
	Potássio	Cálcio	Magnésio	Nitrogênio	Fósforo
Fresca	4,28	0,5	0,15	4,4	1,32
Fresca com ácido	8,8	0,59	0,16	8,6	1,2
Estocada	9,0	0,6	0,13	6,3	1,28
Estocada com ácido	6,45	0,23	0,1	6,3	0,85

Na figura 5-28, encontram-se as massas iniciais na urina e as massas finais de material residual, onde se observa que as massas da urina fresca acidificada e estocada acidificada foram mais eficientes. A adição de ácido sulfúrico foi eficaz se comparar a perda de nitrogênio nas urinas sem e com adição de ácido, na urina fresca, por exemplo, a concentração inicial foi de 14,7 g, ao final essa massa reduziu para 2,9 g, enquanto na urina fresca acidificada, essa massa reduziu apenas para 9,7 g, sendo mais eficiente.

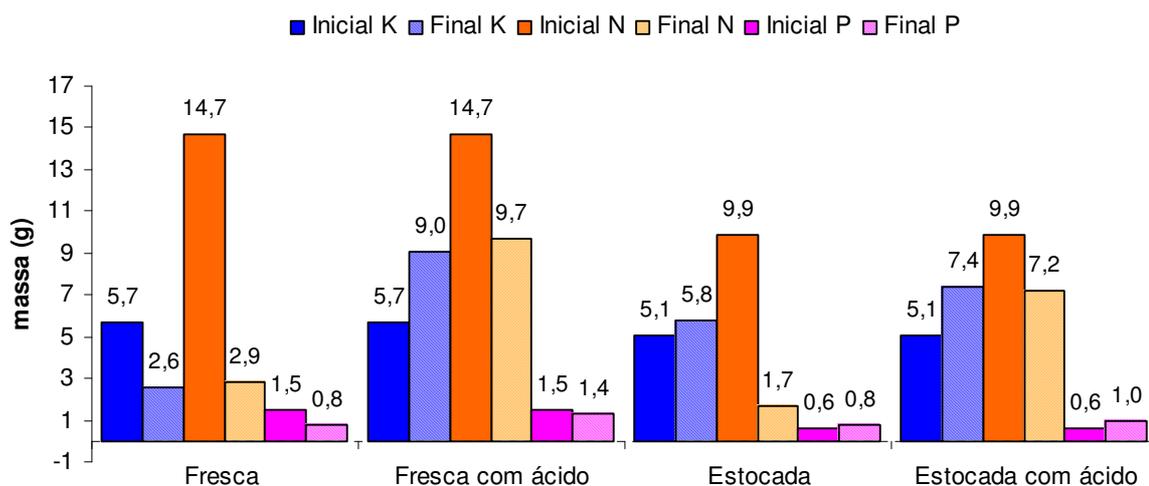


Figura 5-28: Massas iniciais da urina e massas finais de potássio, nitrogênio e fósforo.

Na tabela 5-9, observa-se as porcentagens dos nutrientes na urina (Mi) e no sal formado (Mf), a massa de potássio aumentou no sal formado com exceção na urina fresca, sendo mais elevada nas urinas acidificadas. Com relação ao nitrogênio em todos os tipos de urinas observa-se perda, sendo menor nas urinas acidificadas, onde se obtém um melhor rendimento. Quanto à massa de fósforo em relação às porcentagens iniciais, nas urinas estocada e estocada com ácido, observa-se um aumento, mas se considerarmos que a massa inicial da urina fresca e fresca com ácido é maior, a perda em relação aos outros dois tipos não foi significativa.

Tabela 5-9: Massas iniciais e finais em porcentagem.

	Potássio		Nitrogênio		Fósforo	
	Mi	Mf	Mi	Mf	Mi	Mf
Fresca	5,7(100%)	2,6(54%)	14,7(100%)	2,9(20%)	1,5 (100%)	0,8(53%)
Fresca com ácido	5,7(100%)	9(158%)	14,7(100%)	9,7(66%)	1,5 (100%)	1,35(90%)
Estocada	5,1(100%)	5,8(113%)	9,9(100%)	1,7(17%)	0,6 (100%)	0,81(135%)
Estocada com ácido	5,1(100%)	7,4(145%)	9,9(100%)	7,2(73%)	0,6(100%)	0,97(162%)

O potencial de utilização da urina humana como fertilizante agrícola natural está expresso na tabela 5-9. Que evidencia a quantidade de nutrientes em quilogramas excretada na urina por um adulto no período de um ano (500L ou 500Kg). Na mesma tabela encontram-se os percentuais de nutrientes encontrados nos biossólidos e a quantidade de fertilizante necessária para produzir 250 Kg de grãos – suficiente para as necessidades calóricas e protéicas de uma pessoa adulta por ano (Wolgast et al, 1993). Dos 7,5 Kg de fertilizante industrial necessário para o

cultivo, apenas uma pessoa poderia contribuir com 6,8 Kg, ou seja, 91% da demanda.

Tabela 5-10: Nutrientes na urina humana e a quantidade de fertilizante necessária para produzir 250Kg de grãos/ano.

	Urina (500Kg)		Biossólidos após 40 dias de calagem a 50% ST (Pedroza,2005)	Quantidade de fertilizante necessária
	Valor dessa pesquisa	Wolgast,1993		
Nitrogênio	3,4 Kg	4,0 Kg	2,6 Kg	5,6 kg
Fósforo	0,4 Kg	0,4 Kg	1,5 Kg	0,7 Kg
Potássio	3,0 Kg	0,9 Kg	0,3 kg	1,2 Kg
N + P + K	6,8Kg (91%)	5,3Kg (71%)	4,4Kg (58,67%)	7,5Kg

A evaporação foi eficiente, com grande redução de volume, facilitando o transporte e o armazenamento. Após a evaporação a média foi de 21Kg de material residual para 500Kg de urina líquida, e com alta concentração de nutrientes.

6 CONCLUSÃO

Com relação à caracterização quantitativa e qualitativa da urina:

1. De maneira geral o volume médio encontrado foi bem próximo para homens, mulheres e idosos, e menor para crianças. O volume também não variou muito se comparado com a massa corpórea, e sim de acordo com o clima local e a quantidade de água ingerida.
2. As concentrações de nutrientes nas diferentes faixas etárias foram variáveis, mas ambas apresentaram quantidades adequadas para utilização como fertilizante.
3. Conclui-se que a urina humana representa mais de 90% do nitrogênio encontrado no esgoto doméstico e quase 60% da carga de fósforo.

Com relação ao efeito da estocagem sobre a composição da urina:

1. Dentre as formas de estocagem analisadas, a fechada foi à forma mais eficiente no processo de estabilização físico-química e biológica, pois não houve perda de amônia por volatilização, nem possíveis contaminações por influência do ambiente externo. A concentração de nutrientes nessa forma também foi mais eficiente.
 2. O pH atingiu valores próximos de 9,0 ao longo da estocagem, em ambas as formas, o que é explicado devido à formação da amônia e de outros produtos, facilitando a precipitação de cristais. A condutividade elétrica também aumentou durante o período. Os reservatórios aberto e aerado apresentaram uma menor condutividade em virtude da perda de amônia por volatilização.
 3. A urina possui altas concentrações de cloreto, em torno de 5 a 6 g/L.
-

4. As concentrações de amônia foram mais elevadas no reservatório aberto, e menor nos reservatórios aberto e aerado. Também se observa que ao final do período de estocagem quase todo nitrogênio orgânico está na forma de amônia.
5. O fósforo apresentou uma trajetória de queda ao longo do teste. A remoção foi muito parecida nos três reservatórios.
6. Quanto ao reservatório aerado, o objetivo esperado não foi satisfatório, obtendo resultados muito próximos aos encontrados no reservatório aberto.
7. Constatou-se que mesmo num período curto de 15 dias e em temperatura ambiente, os níveis de coliformes termotolerantes na urina tenderam a praticamente nulo, indicando que a estocagem pode ser uma das formas mais viáveis de tratamento microbiológico da urina. Ainda que na literatura seja recomendado um tempo de estocagem de no mínimo seis meses para eliminar quaisquer tipos de patógenos.

Com relação às análises da evaporação:

1. Conclui-se que a evaporação, utilizando a energia solar como única fonte de calor, como método de concentração de nutrientes e redução de volume de urina estocada, é bastante interessante dos pontos de vista técnico e econômico.
 2. Constatou-se que a adição do ácido sulfúrico em dois dos recipientes foi eficiente no sentido de que toda a amônia proveniente da hidrólise da uréia foi neutralizada, não causando um aumento no pH. As urinas acidificadas também apresentaram teores mais elevados de nitrogênio em relação aos recipientes onde o pH não foi ajustado.
 3. As taxas de evaporação no primeiro e no segundo teste foram de 2,3 e 2,8L/m².d. O resultado da evaporação foi o esperado ao longo dos testes, sendo de no máximo 14 dias o período da evaporação de 3L numa área de 0,09m².
-

4. Este método possibilita reduzir o volume da urina humana em aproximadamente 95%. Que equivale a dizer que para cada litro de urina evaporada se obterá 50g de um resíduo com concentrações balanceadas de nitrogênio, fósforo e potássio, e maiores que as concentrações desses nutrientes encontradas na urina fresca.

7 RECOMENDAÇÕES

Realizar um maior número de repetições dos parâmetros analisados e ampliar a quantidade de parâmetros, como realizar a análise de difratometria de raio x, para confirmação de todos os cristais formados no resíduo sólido.

Aprimorar o sistema de coleta e armazenagem, bem como desenvolver um sistema de transporte da urina.

Estudar a utilização das águas amarelas como fertilizante na agricultura visando o desenvolvimento de uma nova alternativa de fertilizante natural para as plantas.

Estudar outras técnicas de redução de volumes e concentrações de nutrientes.

Estudar a viabilidade econômica da implantação do sistema de reúso de águas amarelas em novos empreendimentos

Estudar o comportamento dos interferentes endócrinos ao longo de todo o ciclo de aproveitamento da urina para fins produtivos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. At-source domestic wastewater quality. **Urban Water**. v. 1, n 1, p. 49-55, 1999.

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.

APHA . **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1995.

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: Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande - MS: ABES, 2005. v.1. p. 186-187.

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

BORGES, L. Z. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

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

http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_escassez.asp>. Acesso em: 28 de dez. 2006.

DOYLE, J. D.; PARSONS, S. A. Struvite formation, control and recovery. **Water Research**. v. 36, p. 3925–3940, 2002

DUARTE, W. O. et al. **Comparação entre as leituras diárias do tanque classe ‘A’ e o evaporímetro de Piche, da estação climatológica da UFV**. II Simpósio Regiona de Geografia. Instituto de Geografia. 2003

ESREY, S. A.; ANDERSSON, I. Saneamento ecológico: fechando o ciclo. Tradução Joaquim Moura. **Agricultura urbana**, n.3, mar. 2001. Disponível em:

<<http://www.agriculturaurbana.org.br/RAU/AU3/AU3saneamentoecologico.htm>
|> Acesso em: 01 mar 2005.

ESREY, S. et al. **Ecological sanitation**. Sida, Stockholm, 1998. Disponível em: < <http://www.ecosanres.org/PDF%20files/Ecological%20Sanitation.pdf>> Acesso em: 11 maio 2005.

EVANGELISTA, A.W.P. et al. **Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da demanda evaporativa do ar (ET) no interior de casa-de-vegetação, em Lavras, MG**. Universidade Federal de Viçosa, MG. 2003

FARIA, R.T. et al. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. 2005

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

FONTES, A.S. et al. **Avaliação preliminar da evaporação nos açudes da Bacia experimental do Rio do Cedro**. Grupo de recursos hídricos. UFBA.2004.

GANROT, Z. **Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture**. Göteborg: Göteborg University, 2005. 170 p. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy.

GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. ABES. Rio de Janeiro, Sermograf, 2006.

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

IDEC. **Manual de educação**. Consumo sustentável. Água. São Paulo, 2006. Disponível em: < http://www.idec.org.br/files/MMA_agua.pdf > Acesso em: 28 de dez. 2006

JOHANSSON, M.; et al. **Urine separation– closing the nutrient cycle**. Verna Ecology. Stockholm, 2001.

JÖNSSON, K. et al. Composition of urine, faeces, greywater and biowaste. **The Mistra Programme Urban Water**. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden, 2005.

Langergraber, G., Müllegger, E. **Ecological sanitation - A way to solve global sanitation problems?**. Environment International. Austria. 2005

LIMA, M.A.S. **Águas acumuladas m açudes e barragens na região de Santa Maria e flutuações em seus atributos físico-químicos**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LIND, B.; BAN, Z.; BYDÉN, S. Volume reduction and concentration of nutrients in human urine. **Ecological Engineering**, Suécia, v. 16, n. 4, p. 561-566, 2001

MANILA, C. F. **Ecological Sanitation – An Introduction to the Philippines.** Philippines, 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; FILHO, J. B. da S. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas.** 2 ed. Viçosa: UFV, 2004. 72 p.

MARTINEZ, H. E. P.; FILHO, J. B. da S. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas.** Viçosa: UFV, 1997. 16 p.

MAVROPOULAS, E. **A hidoxiapatita como removedora de chumbo.** 1999. 126f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

METCALF, B. e EDDY, I. N. C. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and Reuse.** 3. ed. New York : McGraw-Hill, 1991.

PEDROZA, J.P. et al. Doses crescentes de biossólidos e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra.** Vol.5, n°2. 2005.

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. 2002

REBOUÇAS, A. da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, v.13, n. Especial, p. 341-345, 2003.

SANITATION. **Global water supply and sanitation assessment 2000 report.** Geneva, World Health Organization (WHO) and United Nations Children's Fund (UNICEF), Apr. 24, 2001. 79 p. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm>. Acesso em: 16 de nov. 2005.

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

SEMA (Mato Grosso). **Relatório de monitoramento da Qualidade das Águas da Sub-Bacia do Rio Cuiabá / MT**. 2005. Disponível em: <<http://www.sema.mt.gov.br/recursoshidricos/roteiros/Relatorio%20MQA%20Cuiaba%202005.pdf>> Acesso em 27 abr 2007.

SCHÖNNING, C. Schönning, C. **Hygienic aspects on the reuse of source-separated human urine**. In: NJF Seminar, n. 327, Copenhagen, 2001. Disponível em: <<http://www.agsci.kvl.dk/njf327/papers/reviewedSchonning.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

SIDA. **Ecological Sanitation**, Estocolmo, 1998. Disponível em: <<http://www.ecosanres.org/PDF%20files/Ecological%20Sanitation.pdf>> Acessado em: 20 jun. 2005.

SILVA, Késia O. da, et al. Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. **Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.9 no.2 Campina Grande Apr./June 2005**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000200002>, acesso em: 26 abr 2007.

SILVA, Carlos Henrique Pessoa e, et al. **Desenvolvimento e utilização de conservante químico em amostras de urina para análise microbiológicas (Urocultura) e rotina (E.A.S)**. XXXI CBAC, Salvador – RBAC , vol. 37(3): 137-147, 2005.

STRATFUL, I.; LESTER, J. N.; SCRIMSHAW, M. D. Conditions influencing the precipitation of Magnesium ammonium phosphate. **Water Research**. v. 35, n. 1, p. 4191-4199, 2001

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.

URINARY Sediment 3.9 Phosphates. c2005. Disponível em:<<http://www.sin-italy.org/imago/sediment/3.9.3.htm>>. Acesso em 12 set 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 2005. 70 p.

WOLGAST, M. Rena vatten. **Om tankar i kretslopp** (Clean Waters.Thoughts about recirculation). Uppsala, Creamon 1993. 186 p.

WIELAND, P.O., 1994. **Designing for human presence in space—an introduction to environmental control and life support systems**. NASA RP-1324, Appendix E/F, 227-251. Disponível em: <<http://trs.nis.nasa.gov/archive/00000204/01/rp1324.pdf>> Acesso em 17 out 2006

ANEXOS

ANEXO A

Metodologia das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológica

Parâmetro	Métodos	Referência
pH	Método eletrométrico	STANDARD METHODS 4500-H+ B, 1995
Condutividade Elétrica	Método laboratório	STANDARD METHODS 2510 B, 1995
Temperatura	Método Nefelométrico	STANDARD METHODS 2550 B, 1995
Cloreto	Método Argentométrico	STANDARD METHODS 4500-H+ B, 1995
DBO ₅	Oxitop	
DQO	Oxidação por dicromato de potássio em meio ácido	STANDARD METHODS 5220 D, 1995
NTK e N-NH ₃	Método Semi-Micro Kjeldahl	STANDARD METHODS 4500 C, 1995
Sulfato	Método turbidimétrico	STANDARD METHODS 4500 –SO ₄ , 1995
Coliformes termotolerantes	Método dos tubos múltiplos	STANDARD METHODS 9221 D, 1995
P _{total}	Método do ácido ascórbico pela oxidação em meio ácido	STANDARD METHODS 4500 P, 1995
Ortofosfato	Método do ácido ascórbico pela oxidação em meio ácido	STANDARD METHODS 4500 P, 1995
Potássio	Método de fotometria de chama	STANDARD METHODS 3500-K D, 1995
Sódio	Método de fotometria de emissão em chama	STANDARD METHODS 3500-Na D, 1995