

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

JOÃO MARCELO FREIRE SEGUNDO

**DESEMPENHO DE SISTEMA PARA TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM ASSENTAMENTO DA
CHAPADA DO APODI, APODI-RN**

MOSSORÓ – RN
2014

JOÃO MARCELO FREIRE SEGUNDO

**DESEMPENHO DE SISTEMA PARA TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM ASSENTAMENTO DA
CHAPADA DO APODI, APODI-RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Professor D. Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho - UFERSA.

Co-orientador: Professor D. Sc. Rafael Oliveira Batista - UFERSA.

MOSSORÓ – RN
2014

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

F866d Freire Segundo, João Marcelo. Desempenho de sistema para tratamento de água residuária doméstica em assentamento da Chapada do Apodi, Apodi-RN. / João Marcelo Freire Segundo -- Mossoró, 2014. 50f.: il. Orientador: Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho. Co-orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação. 1. Controle de poluição. 2. Escassez de água. 3. Reuso. I. Título. RN/UFERSA/BCOT / CDD: 631.61

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB-15/120

JOÃO MARCELO FREIRE SEGUNDO

**DESEMPENHO DE SISTEMA PARA TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM ASSENTAMENTO DA
CHAPADA DO APODI, APODI-RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

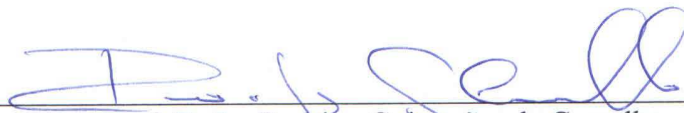
APROVADA EM: 25 /02 / 2014



Prof. D. Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho - UFERSA
Orientador



Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista - UFERSA
Co-orientador



Prof. D. Sc. Rodrigo Guimarães de Carvalho - UERN
Conselheiro

DEDICATÓRIA

*A Diana Cristiane e Eduardo Guerra Segundo,
sem os quais não teria conseguido superar os
obstáculos desta jornada.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre ter planejado minha vida, melhor do que eu mesmo poderia fazê-lo;

A minha esposa, Diana Cristiane Guerra de Araújo Freire e ao meu filho, Eduardo Guerra Segundo, minhas fortalezas nas minhas fraquezas;

Aos meus pais, João Segundo Sobrinho e Maria Socorro de Sousa Freire, por me mostrarem os caminhos corretos da vida, e a quem devo tudo o que sou;

Aos meus Irmãos Paulo Eduardo Freire Segundo e Ênio Érico Freire Segundo, pela cumplicidade sempre presente em nossas vidas;

Aos meus orientadores Prof. D. Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho e Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista, por serem responsáveis por me guiar, e por tornarem possível a realização deste trabalho;

Ao Arquiteto e Urbanista Ian Crisóstomo Bezerra Dutra, e demais colegas de mestrado, por justiça, devido ao coleguismo e amizade demonstrada em toda a jornada do mestrado;

À Engenheira Agrícola e Ambiental Glícia Pinto Barra Reinaldo, pela coordenação na coleta dos dados de campo e na realização das análises laboratoriais de água, água residuária e solo.

A todos que fazem parte do projeto de assentamento Milagres, em especial, Sra Antonieta, Sr Zito e Sr Pedro por todo esforço e ajuda durante o experimento;

Ao Magnífico Reitor Prof. D. Sc. José de Arimatéa Matos e ao Ex-Reitor Prof. D. Sc. Josivan Barbosa de Menezes Feitoza, em nome da administração da UFERSA, pelas condições oferecidas para o ensino de pós - graduação de qualidade;

Ao Eng. Civil Diego Alessandro de M. Barros, Ex-Superintendente de Infraestrutura da UFERSA, pela liberação parcial das minhas atividades técnico-administrativas junto à superintendência;

A toda equipe da Superintendência de Infraestrutura da UFERSA, por todo incentivo demonstrado ao longo de todo este período;

Aos demais parentes e amigos, parte importante da minha vida; e

A todos que de alguma forma contribuíram para que este sonho se tornasse realidade.

RESUMO

SEGUNDO, João Marcelo Freire. **Desempenho de sistema para tratamento de água residuária doméstica em assentamento da Chapada do Apodi, Apodi-RN**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2014.

A escassez hídrica predominante no semiárido brasileiro restringe a disponibilidade de água potável, incentivando a prática do reuso principalmente na produção agrícola. O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de decanto-digestor, sistema alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico do assentamento Milagres, Apodi-RN. De 1 a 22 de dezembro de 2010, equivalente ao período de 48 a 70 dias após o plantio de capim elefante (*Pennisetum purpureum*), foram coletadas amostras do esgoto doméstico nas distintas etapas de tratamento, em quatro repetições no tempo, para determinação de características físico-químicas e microbiológicas. Os resultados indicaram que houve remoção significativa de turbidez, coliformes totais e termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo total, nitrogênio total e óleos e graxas com o uso do conjunto de decanto-digestor com filtros biológicos, sistema alagado construído e reator solar. A combinação de radiação solar de $25,16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, lâmina de 0,10 m de efluente e tempo de exposição solar de 12 horas em Apodi-RN permitiu remoção de até 99,99% dos coliformes termotolerantes e o efluente tratado apresenta padrão microbiológico que atende as diretrizes estaduais para fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

Palavras-chave: Escassez de água. Controle de poluição. Reuso.

ABSTRACT

SEGUNDO, João Marcelo Freire. **Performance of system for treating domestic wastewater in rural community of Chapada do Apodi, Apodi-RN**. 2014. 50 f. Dissertation (Master's degree in Irrigation and Drainage). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2014.

The prevailing water scarcity in the Brazilian semiarid restricts the availability of drinking water, encouraging the practice of reuse primarily in agricultural production. This study aimed to analyze the performance of decanting-digester, wetland and solar reactor for the treatment of domestic sewage Milagres rural community, Apodi-RN. During the period of 1 to 22 December 2010, equivalent to 48 to 70 days after planting of *Pennisetum purpureum*, samples were collected from domestic sewage at different stages of treatment in four replications in time, to determine physicochemical and microbiological characteristics. The results indicated that there was significant removal of turbidity, total and fecal coliforms, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total suspended solids, total solids, phosphorus, total nitrogen and oils and greases using the set of decanting-digester with biological filters, wetland and solar reactor. The combination of solar radiation of $25.16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 0.10 m blade effluent and solar exposure of 12 hours Apodi-RN allowed up to 99.99% removal of fecal coliforms and effluent treated introduces microbiological standard that meets the state guidelines for fertigation of crops not eaten raw.

Keywords: Water scarcity. Pollution control. Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação anual no país – média de 1961 a 2007 (base de dados das estações do INMET).	15
Figura 2 - Ilustração de um sistema alagado construído.	23
Figura 3 - Imagem da área destinada a implantação do sistema de tratamento de efluentes no Assentamento Milagres em Apodi-RN.....	28
Figura 4 - Sistema de tratamento do assentamento.	29
Figura 5 - Vistas frontal (a) e superior (b) do decanto-digestor.	31
Figura 6 - Vista frontal do sistema alagado construído após sua finalização (a) e no momento do plantio dos colmos de capim elefante (b).	32
Figura 7 - Vista frontal do reator solar.	33
Figura 8 - Vista frontal da vala de infiltração.....	34
Figura 9 - Vista frontal do reservatório para armazenamento do excesso de esgoto doméstico tratado no sistema alagado construído.....	34
Figura 10 - Remoção encontrada para Turbidez.	38
Figura 11 - Remoção encontrada para Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda... ..	39
Figura 12 - Remoção encontrada para Sólidos Suspensos (SS) e Sólidos Totais (ST).....	39
Figura 13 - Remoção encontrada para fósforo total e o nitrogênio total.....	40
Figura 14 - Remoção encontrada pra óleos e graxas e nitrato.....	40
Figura 15 - Remoção do nível populacional de coliformes totais e termotolerantes.	41
Figura 16 - Indicador visual do nível de tratamento obtido na mini-estação. Efluente tratado (a) e efluente sem tratamento (b).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos.	21
Tabela 2 - Enquadramento e destinação dos corpos hídricos conforme a Resolução CONAMA nº 20/1986	25
Tabela 3 - Parâmetros de análise de água para irrigação e suas concentrações. Parâmetros de análise de água para irrigação e suas concentrações.	27
Tabela 4 - Valores de vazão e do volume de esgoto doméstico medidos na saída do sistema alagado construído no Assentamento Milagres em Apodi-RN.	36
Tabela 5 - Características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados nos protótipos de tratamento de esgoto doméstico ao longo do período experimental.	37
Tabela 6 - Valores integralizados de radiação global nos dias do monitoramento dos protótipos de tratamento de esgoto doméstico.	41
Tabela 7 - Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas do esgoto doméstico nos pontos de amostragem 1, 2, 3 e 4 dos protótipos de tratamento de esgoto doméstico.	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas
CE - Condutividade Elétrica
CF - Coliformes Termotolerantes
DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
MI – Ministério da Integração Nacional
NBR - Norma Brasileira
NMP - Número mais provável
N-NO₃⁻ - Nitrato no nitrogênio total
ONU – Organização das Nações Unidas
pH - Potencial Hidrogeniônico
PNDU - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SAC – Sistema Alagado Construído
SD - Sólidos Dissolvidos
SS - Sólidos Suspensos
STD - Sólidos Totais Dissolvidos
T - Temperatura
TB - Turbidez
UERN - Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância
UNT - Unidade nefelométrica de turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA	14
2.2 POLUIÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	16
2.3 TIPOS DE REUSO.....	18
2.3.1 REUSO INDIRETO NÃO PLANEJADO DA ÁGUA.....	19
2.3.2 REUSO INDIRETO PLANEJADO DA ÁGUA	19
2.3.3 REUSO DIRETO PLANEJADO DA ÁGUA.....	19
2.3.4 RECICLAGEM DE ÁGUA	19
2.4 REUSO DO ESGOTO DOMÉSTICO NA IRRIGAÇÃO	20
2.5 TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	21
2.6 TRATAMENTO DE ESGOTO COM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO.....	23
2.7 LEGISLAÇÃO PARA TRATAMENTO E REUSO DE ÁGUA	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	28
3.2 INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DE PROTÓTIPOS PARA TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO	29
3.3 OBTENÇÃO DA VAZÃO NO SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE PROTÓTIPOS FUNCIONAIS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO	37
5 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXO.....	49

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual de crescente escassez hídrica, é cada vez mais comum a busca por água, e por maneiras de preservar o ambiente e seus recursos naturais. Esta preocupação com os recursos hídricos contradiz com o volume de água que cobre a superfície terrestre, onde cerca de 71% da superfície do planeta é coberta por água, entretanto apenas uma pequena parcela, menos de 1%, desta água está acessível e é adequada para as necessidades básicas humanas (MILLER, 2008).

Os recursos hídricos, apesar de renováveis, apresentam sérios problemas na gestão do seu uso, bem como a poluição dos mesmos, tornando-os muitas vezes impróprios para consumo humano e para outros fins, portanto, não é possível pensar na preservação da água, sem a adoção de práticas sustentáveis. No caso dos recursos hídricos, há de se controlar tanto o uso da água, quanto o lançamento de efluentes nos mananciais, visando evitar ou minimizar o esgotamento das fontes de águas disponíveis.

Outro aspecto agravante é o fato da distribuição desta água não acontecer de maneira uniforme, uma vez que em determinadas regiões existe apenas um baixo volume de água disponível. Os índices pluviométricos variam de uma região para outra, e até mesmo no interior de domínios climáticos bem caracterizados, podem ocorrer variações pluviométricas significativas, como é o caso do semiárido brasileiro.

De modo geral não há nas áreas brasileiras de clima semiárido, grande disponibilidade de água e os índices pluviométricos médios nestas áreas são muito baixos (precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros), dificultando a implantação de sistemas irrigados com água de boa qualidade, por exemplo.

Na mais recente delimitação da região semiárida brasileira, realizada pelo Ministério da Integração Nacional (MI), em março de 2005, além dos 1.031 municípios já incorporados anteriormente, passaram a fazer parte desta região, mais 102 municípios, aumentando a área de abrangência para 969.589,4 Km². Nessa região, vivem mais de 20 milhões de pessoas, que representam aproximadamente 11,8% da população brasileira, de acordo com o censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Fazendo do semiárido brasileiro o mais populoso do planeta, refletindo na questão sobre o uso da água e consequentemente na qualidade de vida dessas pessoas.

O estado do Rio Grande do Norte é detentor de um dos maiores percentuais em área incorporada ao semiárido brasileiro, com 91,69% de área semiárida. Inserido nesta área

encontra-se Apodi-RN, município onde foi implantado o experimento que é objeto deste estudo.

Baseado na recomendação das Organizações das Nações Unidas (ONU), de que não se deve utilizar água de boa qualidade para usos que toleram águas de qualidade inferior, a menos que haja grande disponibilidade, o que não é o caso das regiões semiáridas, que tem buscado alternativas para os sistemas de irrigação, de modo a suprir os períodos de maior escassez de água. É nesta lógica que se faz a delimitação deste trabalho, na análise de efluentes tratados com uso de tecnologia limpa para preservação dos mananciais de abastecimento, e como possível solução para a falta d'água para a irrigação.

A pretensão da tecnologia em pauta é a de sustentabilidade, tanto nas questões econômicas, de modo a viabilizar sua implantação em pequenas propriedades e comunidades rurais da região semiárida brasileira, quanto nas questões ecológicas, pois não há como favorecer a economia em detrimento do meio ambiente.

Neste sentido, foi implantado no Assentamento Rural Milagres localizado no município de Apodi/RN, para realizações de estudos, um sistema de tratamento composto por: decanto digestor, sistema alagado construído e reator solar.

Dimensionado para tratar o esgoto de 28 famílias, o sistema foi analisado de forma a caracterizar o efluente em quatro pontos do mesmo, sendo possível verificar a eficiência do tratamento, e a possibilidade de reutilizar o efluente tratado para fins agrícolas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA

Victorino (2007) esclarece que na Terra existe cerca de 1.370.000.000 km³ de água que se distribuem da seguinte forma: 97,2% de água do mar e 2,8% de água doce, dos quais apenas 1% encontra-se disponível para consumo humano. Diante desses valores verificou-se que a parcela de água disponível ao consumo humano é muito pequena diante do grande volume d'água existente. Além disso, não existe uma distribuição uniforme da água, sendo que em algumas partes do planeta não existe água disponível para atender sequer ao consumo humano mais básico.

Conforme aponta o relatório GEO Brasil Recursos Hídricos da ANA (BRASIL, 2007a), o Brasil apesar de ser um dos países mais privilegiados no aspecto de disponibilidade de água, possuindo cerca de 12% da água doce de todo o mundo, enfrenta problemas em relação à disponibilidade de tal recurso. Há ainda que se considerar a enorme discrepância em relação à distribuição populacional e da água no país, onde a Região Hidrográfica Amazônica possui 74% da disponibilidade de água do Brasil. Entretanto, é habitada por menos de 5% dos brasileiros.

O semiárido brasileiro possui realidade bem distinta da região amazônica nas questões relacionadas aos recursos hídricos, abrangendo uma população cerca de três vezes maior, e disponibilidade hídrica substancialmente inferior. A Figura 1 serve para demonstrar também a discrepância dos índices pluviométricos nas diversas regiões do país, expondo dados de precipitação anual no país.

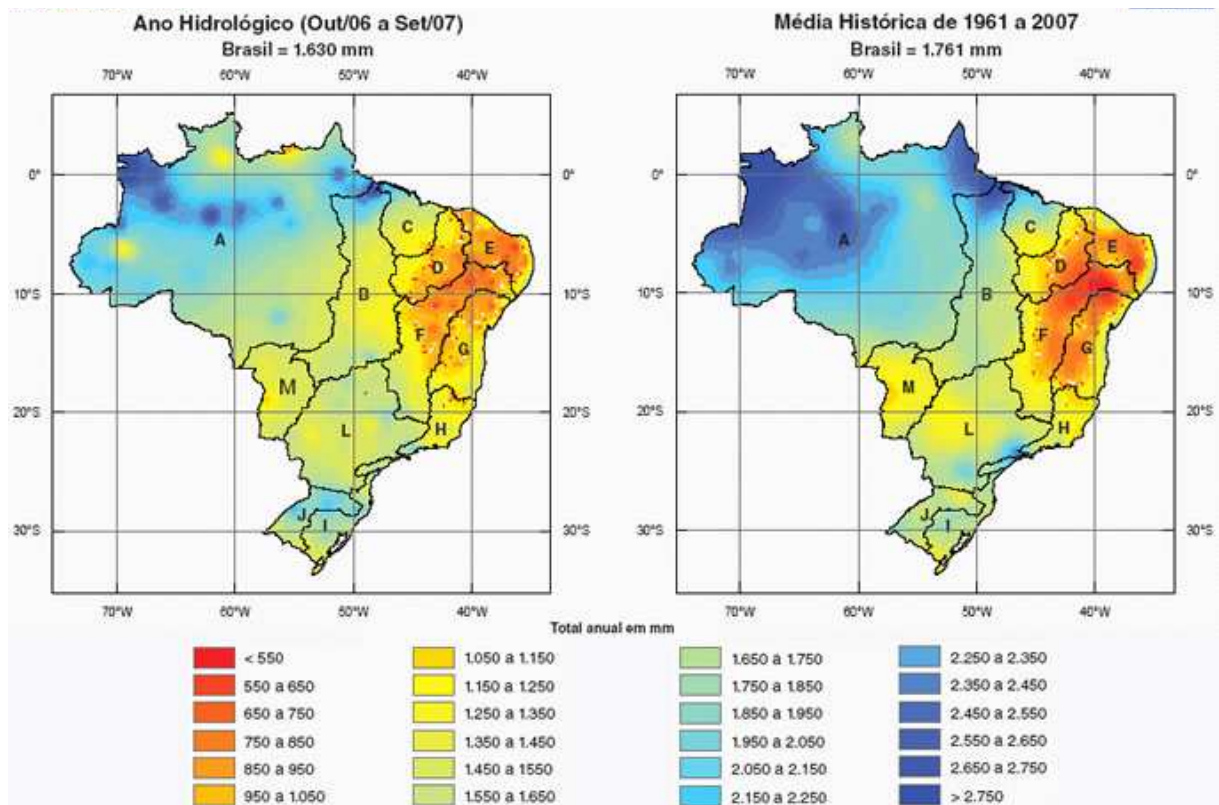
Cabe ressaltar, da má distribuição temporal das precipitações, onde as mesmas concentram-se em poucos meses do ano, gerando períodos de chuva e estiagem. Esta região costumeiramente também conta com temperaturas altas, acima de 26°C, com poucas variações, contribuindo para maior evapotranspiração das culturas.

A região semiárida é conhecida pelas condições secas ao longo dos anos. Para Tucci e Braga (2003), a seca é a principal manifestação da variabilidade climática do nordeste brasileiro. Sendo que as mesmas modularam o processo de ocupação e os ciclos econômicos dos semiáridos.

Para retratar a importância e a escassez da água no semiárido, a UNICEF (2005), relata que a irregularidade da chuva faz com que 42% das crianças e dos adolescentes do

semiárido não tenham acesso a poço, rede geral ou nascente, o que afeta diariamente sua vida e limita seu desenvolvimento.

Diante desta realidade, é possível perceber a dificuldade de aplicar água de boa qualidade para fins de irrigação no semiárido, sendo necessária a busca de fontes alternativas para esta atividade, bem como a importância de se preservar os recursos hídricos disponíveis, nesta localidade.



Fonte: Brasil (2007a).

Figura 1 - Precipitação anual no país – média de 1961 a 2007 (base de dados das estações do INMET).

Além dos problemas de distribuição de água no planeta, existem outros relacionados com a escassez, a poluição e a gestão dos recursos hídricos, entre outros menos significativos.

Seja em termos quantitativos ou qualitativos, a escassez de água já é realidade em muitos lugares do planeta. Segundo o relatório de desenvolvimento humano (UNDP, 2006), hoje: cerca de 1,1 bilhões de pessoas não têm acesso à água potável e aproximadamente 2,6 bilhões de habitantes moram em domicílio sem esgoto. Em muitos países, principalmente os em desenvolvimento, esse problema aparece relacionado com a maior parte das mortes e enfermidades. Além disso, a falta de acesso à água e saneamento mata uma criança a cada 19 segundos, em decorrência de diarreia.

Em uma reportagem do dia 22 de março de 2005, que trata sobre a escassez de água,

o PNUD (2005) afirma que em 2050, pelo menos uma em cada quatro pessoas provavelmente viverá em um país afetado por escassez crônica ou recorrente de água potável. Isto poderá restringir seriamente a disponibilidade de água para todas as finalidades, particularmente para a agricultura, atividade que consome grande parte de toda água consumida.

A água foi colocada por muitos e por muito tempo como o problema do semiárido. Na realidade a construção de uma política de desenvolvimento para o semiárido exige uma abordagem mais ampla que a questão da água. Problemas como a estrutura fundiária e o grau de educação de nossas populações são aspectos decisivos para a construção de uma política de desenvolvimento. A água, porém, continua a ser um fator limitante ao desenvolvimento e a sobrevivência de muitas populações, demandando política pública específica e prioritária. (TUCCI; BRAGA, 2003).

2.2 POLUIÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Apesar de ser uma substância vital para a saúde humana, a água quando contaminada pode debilitar as pessoas, disseminar doenças por vários mecanismos e aumentar a mortalidade. Essas são consequências produzidas pela água contaminada e de baixa qualidade. (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

De forma genérica, a poluição das águas decorre da adição de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alteram as características físicas e químicas do corpo d'água de uma maneira tal, que prejudique a utilização das suas águas para usos benéficos. (PEREIRA, 2004).

Por força das leis brasileiras, o uso dos recursos hídricos, seja por meio de exploração ou para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos, deve passar por licenciamento ambiental de órgãos fiscalizadores, cabendo a estes conceder ou não outorga para os diversos aspectos.

As concessões de outorga para lançamento de efluentes, deve observar os padrões do lançamento dos mesmos, a fim de evitar a degradação da qualidade da água dos mananciais.

A realidade é que nem sempre o processo de regularização dos lançamentos é seguido, sendo um problema de difícil controle para os órgãos fiscalizadores, que em muitos casos acabam não tomando conhecimento destes lançamentos clandestinos, sendo um fato causador da poluição hídrica.

Um fenômeno complicador para tal fiscalização é o crescimento populacional, e consequentemente das atividades relacionadas ao uso da água, sejam as atividades industriais

e agrícolas entre outras, bem como maior geração de resíduos, sem que se tenha infraestrutura adequada para sua destinação, acarretando em frequente lançamento direto nos corpos hídricos.

De acordo com Brasil (2006), a poluição das águas pode ocorrer de três formas: a) introdução de substâncias artificiais e estranhas ao meio, como, por exemplo, o lançamento de agrotóxicos em rios ou a contaminação por organismos patogênicos; b) introdução de substâncias naturais e estranhas ao meio, como o aporte de sedimentos às águas de um lago, reduzindo seu volume útil; e c) alteração na proporção ou nas características dos elementos constituintes do próprio meio, como, por exemplo, a diminuição do teor de oxigênio dissolvido nas águas de um rio em decorrência da presença de matéria orgânica.

Já a poluição do meio aquático, quanto ao modo de introdução de poluentes, pode acontecer de dois modos: pontuais ou difusos. O primeiro se dá quando ocorre um lançamento individual do agente poluidor, ou seja, em um único ponto do corpo hídrico. Já o modo difuso, acontece quando não há ponto específico para o lançamento, ocorrendo em um ou mais trechos do corpo hídrico.

Para Braga (2007) os principais poluentes aquáticos são: a) Poluentes orgânicos biodegradáveis, que são passíveis de degradação pelos organismos decompositores presentes no meio aquático, esses poluentes são capazes de reduzir os níveis de oxigênio dissolvido no meio, causando a destruição da fauna ictiológica e de outras espécies aeróbias; b) Poluentes orgânicos recalcitrantes ou refratários, que são de difícil biodegradação, sendo que os impactos causados pelos mesmos estão associados à sua toxicidade. Os principais exemplos são: defensivos agrícolas, detergentes sintéticos e o petróleo; c) Metais, que podem ser solubilizados pela água, podendo gerar danos à saúde em função da quantidade ingerida, pela sua toxicidade, ou de seus potenciais carcinogênicos, mutagênicos ou teratogênicos; d) Nutrientes, pois seu excesso nos corpos de água pode levar ao crescimento excessivo de alguns organismos aquáticos, acarretando prejuízo a determinados usos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Esses nutrientes, notadamente os sais de nitrogênio e o fósforo, são comumente responsáveis pela proliferação acentuada de algas, as quais podem prejudicar a utilização de mananciais de água potável; e) Organismos patogênicos, que provocam diversas enfermidades pela veiculação hídrica, sendo as classes de patogênicos mais comuns: bactérias, vírus, protozoários e os helmintos; f) Sólidos em suspensão, estes são capazes de aumentar a turbidez da água, reduzindo as taxas de fotossíntese e prejudica a procura de alimento para algumas espécies. Sedimentos podem carregar pesticidas e outros tóxicos, e sua deposição no fundo de mananciais prejudica as espécies bentônicas e a reprodução de peixes;

g) Calor. A temperatura da água afeta características físico-químicas e biológicas da água, como o metabolismo dos organismos aquáticos entre outros; e h) Radioatividade. Uma exposição aguda a ela pode levar à morte ou, então, causar danos à saúde. Uma exposição prolongada pode provocar o aparecimento de várias doenças, como o câncer. Além disso, a radioatividade pode afetar as células envolvidas na reprodução dos indivíduos, com graves danos para as gerações futuras.

A poluição de um corpo hídrico está fortemente vinculada ao uso que dele se faz. Assim, por exemplo, a presença de nutrientes na água é desejável para fins de aquicultura, mas extremamente prejudicial no caso de retirada de água de lagos ou de represas para abastecimento (em razão da eutrofização). Uma água rica em algas e plantas pode ser usada para irrigação, mas é inconveniente para geração de energia elétrica (entupimento de turbinas) ou mesmo para navegação ou recreação. Uma água corrosiva pode servir para recreação, mas é inadequada para abastecimento industrial. Um ambiente aquático com altas densidades de patogênicos não pode ser utilizado para recreação, mas é facultado seu uso para transporte. Tais exemplos evidenciam que a caracterização da água como poluída ou não deve estar associada ao uso que dela se pretende fazer (BRASIL, 2006).

2.3 TIPOS DE REUSO

Segundo a Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, o reuso de água constitui-se em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21. Tal prática reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade; reduz os custos associados a poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Vale ressaltar que não se deve acreditar que o reuso seja suficiente para combater o problema da escassez de água no planeta. O mesmo deve ser encarado como parte de um programa de uso consciente dessa água, o qual consiste no uso racional da mesma, adotando medidas que vão desde o controle das perdas e desperdícios, até a redução na produção de efluentes e no consumo de água.

2.3.1 Reuso indireto não planejado da água

Este tipo de reuso ocorre quando usuários de jusante captam a água que foi consumida em alguma atividade humana, por usuários de montante. Essa água é consumida em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração).

2.3.2 Reuso indireto planejado da água

Hespanhol (2008), explica que este tipo de reuso ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas à jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

No reuso indireto planejado da água, exige-se a existência de um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, de maneira que estas tenham nível igual ou inferior de poluentes, garantindo que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reuso objetivado (HESPANHOL, 2008).

2.3.3 Reuso direto planejado da água

Nesse tipo de reuso os efluentes são tratados e encaminhados diretamente do tratamento para os pontos de reutilização, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso de maior ocorrência na indústria e na irrigação (HESPANHOL, 2008).

2.3.4 Reciclagem de água

A reciclagem de águas pode ser entendida como reuso interno da água antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição para suplementar o abastecimento do uso original. É um caso de reuso direto (RODRIGUES, 2005).

2.4 REUSO DO ESGOTO DOMÉSTICO NA IRRIGAÇÃO

O uso de água na agricultura é um tema de grande interesse por aqueles que estão envolvidos nesta atividade, pois a mesma é a maior consumidora mundial de água. Evidentemente, em se tratando de regiões onde a magnitude de perdas de água por evaporação do solo e pela transpiração das plantas é maior que a precipitação pluvial, levando à ocorrência de déficit hídrico, como no Semiárido do Brasil, o uso de água pela agricultura é de grande interesse da sociedade como um todo, visto que pode haver competição pelo seu uso com outros setores, como a geração de energia, uso industrial, uso doméstico, entre outros. (BEZERRA SÁ; SILVA, 2010).

A utilização de efluentes tratados tem se mostrado uma opção interessante, seja reduzindo o consumo, seja no auxílio à preservação dos mesmos, já que o reuso possibilita minimizar o lançamento de efluentes nos mananciais.

O esgoto doméstico trata-se de efluente proveniente de instalações sanitárias comuns, como as dos banheiros, cozinhas e lavanderias das residências e edificações comerciais simples. São oriundos das necessidades básicas humanas, como higiene e produção de alimentos, por exemplo.

Para Braga (2007) o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente em razão dos seguintes fatores: a) Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação; b) Custo elevado de fertilizantes; c) A segurança de que os riscos de saúde pública e os impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas forem efetivamente tomadas; d) Os custos elevados dos sistemas de tratamento necessários para descarga de efluentes em corpos receptores; e) A aceitação sociocultural da prática do reuso agrícola; e f) O reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Os benefícios provocados pelo reuso do esgoto nos sistemas de irrigação são diversos, sejam econômicos, ambientais ou sociais. No âmbito da economia, a reflexo direto no aumento da produtividade agrícola, visto que os esgotos, quando adequadamente administrados, podem servir de fertilizantes para as culturas. Cabe salientar também, a economia de água de boa qualidade para usos mais restritivos.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados experimentais efetuados em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental (Neeri), que investigou os efeitos da irrigação com esgotos sobre as culturas produzidas. (BRAGA, 2007).

Tabela 1 - Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos.

Irrigação efetuada com	Trigo 8 anos (*)	Feijão 5 anos (*)	Arroz 7 anos (*)	Batata 3 anos (*)	Algodão 3 anos (*)
Esgoto bruto	3,34	0,90	2,97	23,11	2,56
Efluente primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,30
Efluente de lagoa de estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,70	0,72	2,03	17,16	1,70

(*) Número de anos para cálculo da produtividade média

Fonte: Braga (2007).

O aumento de produtividade é facilmente percebido em rápida análise da tabela, porém, também há de se considerar a possibilidade de ampliação da área irrigada, bem como do período de colheita, visto que mesmo no período não chuvoso há disponibilidade de efluente tratado.

No aspecto socioambiental, os reflexos do reuso são percebidos diretamente na saúde pública, pois à medida que se reduz o lançamento de esgotos no ambiente aquático, minimizam-se as doenças causadas por veiculação hídrica, auxiliando ainda na preservação dos solos e das águas.

No entanto, o uso de esgotos requer manejo adequado na irrigação, por trazer riscos sanitários às culturas e seus consumidores, devido aos agentes poluidores contidos nos mesmos, requerendo em muitos casos tratamento adequado para tal finalidade.

2.5 TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

No que concerne às companhias de saneamento, o lançamento de esgoto doméstico bruto em corpos hídricos altera as características naturais da água, a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias.

Atualmente, as tecnologias utilizadas pelas companhias de saneamento tornam-se inviáveis para comunidades rurais de baixa renda de regiões semiáridas, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção quanto pela grande dispersão populacional nas zonas rurais. Portanto, existem necessidades quanto ao desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e fácil operação para o tratamento de esgoto doméstico e que possibilite aumento de renda pelo

uso do efluente tratado na fertirrigação de cultivos agrícolas, gerando sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, destacam-se as seguintes tecnologias:

a) Tanques sépticos: são tanques que objetivam a retenção de sólidos flutuantes, decantação de sólidos sedimentáveis, alteração das características da fase líquida, deposição acúmulo e adensamento do lodo decantado em regime de decomposição anaeróbia, digestão parcial da espuma, redução sensível do número de bactérias patogênicas. Este dispositivo é recomendado para o tratamento de efluentes gerados por até 300 pessoas, removendo em média 50% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (MATOS, 2007).

b) Filtros anaeróbios: são tanques de forma cilíndrica ou prismática de seção quadrada com fundo perfurado, preenchido com material inerte poroso que têm por finalidade proporcionar tratamento anaeróbio complementar ao obtido em tanques sépticos. O filtro anaeróbio é um dispositivo que faz parte da etapa de tratamento primário e utiliza o método físico e biológico para remoção de poluente no tratamento de um efluente, removendo até 85% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (MATOS, 2007).

c) Sistemas alagados construídos (SACs): são dispositivos construídos em alvenaria ou com manta impermeabilizante preenchidos internamente com material poroso e inerte (cascalho, brita, tampa de garrafa pet e outros). Sobre o meio filtrante são cultivadas espécies de plantas com grande capacidade de extração de poluentes presentes nos esgotos domésticos. Para evitar o surgimento de odores desagradáveis, insetos e animais peçonhentos recomenda-se a utilização de fluxo subsuperficial do esgoto doméstico (MATOS, 2007). Prochaska e Zoubouslis (2009) obtiveram remoções de 52, 60 e 96% nas concentrações de fósforo total, nitrato e Demanda Química de Oxigênio em SAC abastecido com esgoto doméstico, tendo a *Phragmites australis* como planta extratora. Matos et al. (2010) utilizaram taboa (*Typha latifolia* L.), alternantera (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Grieb.) e o capim tifton-85 (*Cynodon dactylon* Pers.) como plantas extratoras de poluentes em sistemas alagados construídos para o tratamento de água residuária de suinocultura. Com vazão média diária de 0,8 m³ foram obtidas remoções de 91, 89, 86 e 94% nas concentrações de sólidos suspensos, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e zinco, respectivamente.

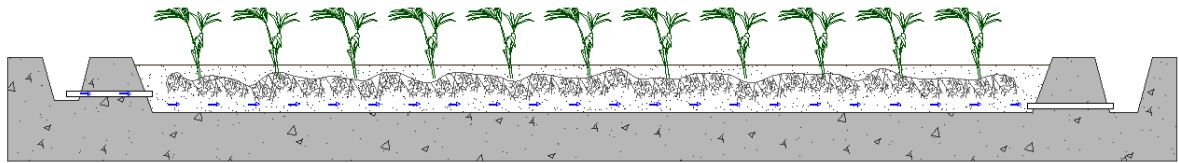
d) Reatores solares: são tanques construídos em alvenaria ou fibra de vidro que possibilitam o armazenamento de esgoto doméstico para exposição direta à radiação solar local, visando a inativação dos microrganismos patogênicos. A Região Nordeste se apresenta como a mais promissora para a aplicação desta tecnologia. Nos estados do Piauí e Maranhão, durante o ano todo, é preciso dois dias de exposição solar, independentemente da profundidade (até 0,20 m) da água residuária a ser tratada. Nas Regiões Sudeste e Centro

Oeste, durante o inverno, são necessários menos de 2,5 dias; enquanto, no resto do ano serão necessários dois dias de exposição solar (SANCHES-RAMON et al., 2007).

2.6 TRATAMENTO DE ESGOTO COM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO

O processo de tratamento de água residuária em sistemas alagados construídos (sistemas "Wetlands"), cultivados com plantas macrófitas, caracterizam-se como sistemas robustos e de baixos custos e simplicidade de operação e manutenção. Tais aspectos os tornam ideais para aplicação em regiões carentes de saneamento básico, adequando-se perfeitamente às condições de países de clima tropical, que possuam áreas disponíveis à sua implantação, como é o caso do Brasil (BRASIL et al., 2005; BRASIL; MATOS, 2008).

Com a finalidade de simular um ecossistema natural, os sistemas alagados construídos utilizam os mesmos princípios básicos de modificação da qualidade da água, ou seja, o efluente é tratado pelas bactérias decompositoras de material orgânico, presentes no substrato, rizomas e raízes do sistema, no decorrer do escoamento, conforme a figura 2.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 2 - Ilustração de um sistema alagado construído.

Esses ecossistemas apresentam a capacidade de depurar, por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos a água que está presente nele (BRASIL, 2005). Por isto, podem ser considerados como uma forma de tratamento para águas residuárias e em particular para os esgotos domésticos.

Tal sistema é de fácil operação, apresenta um baixo custo de implantação, um bom resultado no tratamento de esgotos domésticos, além do aproveitamento do cultivo produzido como forragem animal, produção de plantas ornamentais e fornecimento de matéria-prima para artesanato.

Os sistemas alagados construídos podem apresentar características construtivas diferentes de acordo com o seu fluxo interno: a) escoamento superficial: os canais possuem algum tipo de material de suporte que fornece condições para o desenvolvimento da planta onde a água irá fluir em pequenas profundidades; b) escoamento subsuperficial: utiliza no canal um meio de suporte que serve também como filtro que pode ser composto por brita,

areia e cascalho, onde o efluente será lançado para posterior percolação. As plantas cultivadas nesses sistemas são plantadas diretamente no material de suporte. Não oferecem condições para o desenvolvimento e proliferação de mosquitos e para o contato de pessoas e animais com a lâmina d'água; e c) escoamento com fluxo vertical: filtros de vazão intermitente com material de suporte para as plantas, onde o nível d'água está abaixo do meio suporte, impossibilitando ter contato com animais e pessoas. Apresenta grande potencial para nitrificação (VALENTIM, 2003).

2.7 LEGISLAÇÃO PARA TRATAMENTO E REUSO DE ÁGUA

Em 5 de janeiro de 2007 foi sancionada a lei 11.445, esta vem preencher uma lacuna na legislação específica para o setor. A lei estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Nacional de Saneamento Básico. Com a finalidade de atrair mais investimentos públicos e privados, e acelerar o acesso à água e à coleta de esgoto no país, a Lei nº. 11.445/07 é definida como o marco regulatório do Saneamento Básico no Brasil; estabelece a universalização dos serviços de abastecimento de água, rede de esgoto e drenagem de águas pluviais, além da coleta de lixo para garantir a saúde da população brasileira (BRASIL, 2007b).

Em 2011 foi instituída a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA (BRASIL, 2011). Nessas resoluções destacam-se os padrões para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos:

- pH entre 5 e 9;
- temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- materiais sedimentáveis: até 1 mL L⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): máximo de 120 mg L⁻¹, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg L⁻¹; e
- ausência de materiais flutuantes.

Para minimizar a poluição e contaminação dos corpos hídricos foi instituída a Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986, que apresenta nove classes de acordo com os usos preponderantes da água no Território Nacional, como apresentado na Tabela 2 (BRASIL, 1986). Entre todas as classes, a única que não é indicada para o reuso é a classe especial, já que está reservada ao uso primário inicial, ou seja, destinada ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção, bem como à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Tabela 2 - Enquadramento e destinação dos corpos hídricos conforme a Resolução CONAMA nº 20/1986

DESTINAÇÃO	CLASSES								
	E	1	2	3	4	5	6	7	8
Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção	x								
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	x								
Abastecimento doméstico após tratamento simplificado		x							
Proteção das comunidades aquáticas		x	x			x		x	
Recreação de contato primário		x	x			x		x	
Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	x								
Criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécies destinadas à alimentação humana		x				x		x	
Abastecimento doméstico, após tratamento convencional			x	x					
Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas			x						
Criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de espécies destinadas à alimentação humana			x						
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras				x					
Dessedentação de animais				x					
Navegação					x				
Harmonia paisagística					x	x	x		x
Usos menos exigentes					x				
Navegação comercial							x		x
Recreação de contato secundário							x		x

Fonte: Brasil (1986).

O reuso das águas classificadas pela Resolução CONAMA nº 20/86 é reuso indireto, pois quando reutilizadas, pressupõe-se sua captação em cursos e corpos hídricos de domínio público e a Resolução somente classifica recursos hídricos de domínio público (BRASIL, 1986).

Mesmo para irrigação existem possibilidades distintas do potencial de reuso, bem como níveis de potabilidades distintos da qualidade da água, dependendo do tipo de cultura a ser irrigada. Isso se deve a forma em que será consumido o fruto ou vegetal, pois para os que são consumidos crus, a água deve estar isenta de organismos patogênicos e substâncias tóxicas ao vegetal ou ao consumidor.

No Brasil, o reuso de água para fins não potáveis, ocorre de forma um tanto quanto incipiente, tanto para uso de efluente proveniente de estações de tratamento de esgotos, quanto para uso de esgoto doméstico, oriundos de pontos específicos das edificações denominados de água cinza, apesar de haver por parte da Política Nacional de Recurso Hídricos a preocupação de “assegurar à atual e as futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, (BRASIL,1997).

A NBR 13.969-97 (ABNT, 1997) prevê o reuso de água residuária doméstica para fins não potáveis, entre outros reusos cita a possibilidade de irrigação dos jardins, estabelecendo padrões de qualidade para este fim. Nesta norma, a água a ser usada na irrigação de jardins, deverá apresentar: turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 500 NMP por 100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg L⁻¹.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu nas diretrizes para o uso de esgotos na agricultura e aquicultura, publicadas em 1989, o valor numérico de 1.000 coliformes fecais por 100mL (média geométrica durante o período de irrigação), para irrigação irrestrita de culturas ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos. Entretanto, para gramados com os quais o público tenha contato direto deve ser adotado o valor numérico de 200 coliformes fecais por 100 mL. Além disso, os nematóides intestinais devem ser < 1 ovo de helminto por litro (ANA, 2005). Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros de análise de água para irrigação e suas concentrações.

Tabela 3 - Parâmetros de análise de água para irrigação e suas concentrações.

Parâmetros			Concentrações
pH			Entre 6,0 e 9,0
Salinidade			0,7 < EC (dS/m) < 3,0 450 < SDT (mg/L) < 1500
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
		Cloro Residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100 mg /L
		Cloro Residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias		0,7 mg/L
	Regas de jardim e similares		3,0 mg/L
Nitrogênio total (mg/L)			5 – 30 mg/L
DBO (mg/L)			< 20 mg/L
Sólidos suspensos totais (mg/L)			< 20 mg/L
Turbidez (UT)			< 5 UT
Cor aparente (UH)			< 30 UH
Coliformes fecais (mL)			≤ 200/100 mL

Fonte: Ana (2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi realizado no Projeto de Assentamento Rural Milagres em Apodi-RN, situado a 100 km de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°35'22" de latitude sul e 37°54'09" de longitude oeste. Na Figura 3 está ilustrada a localização da área experimental.

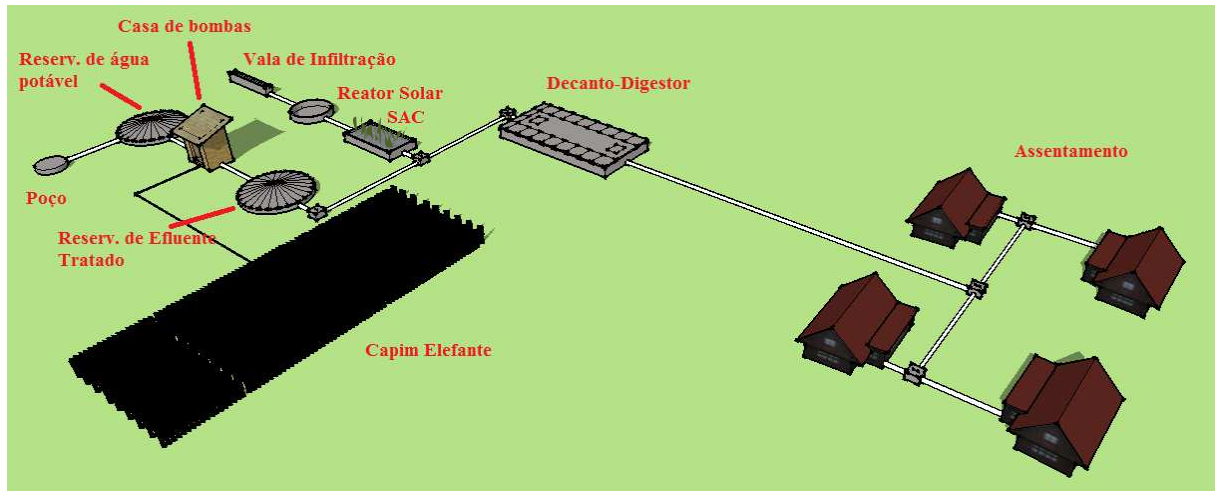


Fonte: Google Earth (2014).

Figura 3 - Imagem da área destinada a implantação do sistema de tratamento de efluentes no Assentamento Milagres em Apodi-RN.

Atualmente, o assentamento possui 100 habitantes em 28 residências e dispõe de rede coletora de todo o esgoto doméstico produzido, além de um decanto-digestor para tratamento preliminar e primário do esgoto doméstico bruto. Tal sistema possui um tanque séptico com duas câmaras, gradeamento e dois filtros anaeróbios de fluxo descendente. O decanto-digestor foi dimensionado para tratar uma vazão até 20 m³ por dia de esgoto doméstico com remoção do lodo a cada dois anos. No período experimental de setembro a dezembro de 2010 a vazão no sistema era de 12 m³ por dia, tendo em que vista que apenas 60 pessoas estavam gerando esgoto doméstico.

Próximo ao decanto-digestor foi implantada uma pequena infraestrutura para tratamento complementar de parte do esgoto doméstico gerado no Assentamento Milagres. Como mostra a figura 4.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 4 - Sistema de tratamento do assentamento.

3.2 INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DE PROTÓTIPOS PARA TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO

Decanto-digestor: objetiva a remoção de sólidos suspensos decantáveis, areia, óleos e graxas, efetuando o tratamento preliminar/primário. Este dispositivo foi construído em alvenaria de tijolos e reboco com impermeabilizante nas dimensões de 4,0 m de largura por 8,0 m de comprimento por 1,80 m de profundidade. No entanto, a profundidade útil do sistema foi de 1,30 m, além de ser dividido da seguinte forma: a) um tanque séptico com duas câmaras, medindo de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 0,5 dia, frequência para remoção do lodo a cada dois anos, ocupando um volume de cerca de 21 m³; b) grade tipo fina para remoção de material particulado com tamanho de até 0,02 m nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento, instalada a jusante do tanque séptico; e c) dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando um volume total de 16,0 m³. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro é aproximadamente de duas horas.

O dimensionamento do tanque séptico foi realizado conforme as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$V_{ts} = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot L_f)}{1000} \therefore V_{ts} = \frac{1000 + 100 \cdot (200 \cdot 0,5 + 97 \cdot 1)}{1000} \therefore V_{ts} = 21,0 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Onde:

V_{ts} = volume útil do tanque séptico, m^3 ;

1000 = fator de segurança, L;

N = número de contribuições, habitante ou unidade;

C = contribuição de despejo, $L \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$ ou $L \cdot unid^{-1} \cdot dia^{-1}$;

T = tempo de detenção hidráulica, dia;

K = taxa de acúmulo de lodo digerido, adimensional; e

L_f = contribuição de lodo fresco, $L \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$ ou $L \cdot unid^{-1} \cdot dia^{-1}$.

Foi considerado C de $100 L \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$, pelo entendimento de que as residências são de baixo padrão construtivo. Partindo-se do mesmo entendimento encontrou-se o valor de $1 L \cdot hab^{-1} \cdot dia^{-1}$ para L_f . Para o T, foi adotado o período de meio dia, devido ao volume de efluente diário ser superior a 9.000 litros. Enquanto que o coeficiente K foi igual a 97, tendo sido considerada temperatura ambiente superior a $20^\circ C$, e intervalo entre limpezas de 2 anos. Cabe ressaltar que todos os valores adotados conforme estabelecido pela NBR 7229 (ABNT, 1993).

Adotando-se uma profundidade útil de 1,3 m (em conformidade NBR 7229/93) e largura interna de 2,0 m tem-se o seguinte valor de comprimento para o tanque séptico:

$$Cp = \frac{V}{L \cdot h} \therefore Cp = \frac{21,0}{1,30 \cdot 2,0} \therefore Cp = 8,0 \text{ m} \quad (2)$$

Onde:

V = volume útil do tanque séptico, m^3 ;

Cp = comprimento interno do tanque séptico, m;

L = largura interna do tanque séptico, m; e

h = profundidade útil do tanque séptico, m.

A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a $2/3$ do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada do esgoto doméstico. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,50 m de altura.

Já o dimensionamento dos filtros anaeróbios foi realizado conforme recomendações de Matos (2007) e da NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$V_f = \frac{1,6.N.C.T}{1000} \therefore V_f = \frac{1,6.100.200.0,5}{1000} V_f = 16,0 \text{ m}^3 \quad (3)$$

$$S = \frac{V_f}{1,3} \therefore S = \frac{16,0}{1,3} \therefore S = 12,0 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Onde:

V_f = volume útil do filtro, m^3 ;

N = número de unidades de contribuição ou população equivalente, habitante ou unidade;

C = contribuição de despejos, $\text{L. hab.}^{-1}\text{dia}^{-1}$ ou $\text{L.unid.}^{-1}\text{dia}^{-1}$;

T = tempo de retenção hidráulica, dia; e

S = área de seção horizontal, m^2 .

Logo, cada filtro foi construído em uma área de 6 m^2 , tendo 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 5 - Vistas frontal (a) e superior (b) do decanto-digestor.

Sistema alagado construído: composto por um leito com fluxo subsuperficial horizontal, para tratamento secundário/terciário do esgoto doméstico, construído em alvenaria nas dimensões de 2,0 m de largura por 4,0 m de comprimento por 0,50 m de profundidade, enterrado no solo. O meio suporte utilizado foi a brita 1 que possibilita a formação do biofilme para o tratamento biológico do efluente.

No dia 23 de setembro de 2010 foram plantados os colmos de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) no sistema alagado construído no espaçamento de 0,60 m entre fileiras e 0,60 m entre colunas. Esta espécie vegetal foi escolhida pela sua elevada capacidade de extração de nutrientes do esgoto doméstico e posterior conversão em biomassa que pode, após exposição à radiação solar, servir como alimento para pequenas criações de animais no assentamento (bovinos, caprinos e ovinos).

Desta etapa do tratamento o efluente é conduzido em uma tubulação com 100 mm de diâmetro nominal até uma área de infiltração-percolação. Desta tubulação foi derivada outra com diâmetro nominal de 50 mm para o abastecimento do sistema alagado construído. Na entrada do sistema alagado construído foi instalado um segmento de tubo de PVC de 50 mm com perfurações (0,02 m) e largura de 2,0 m enterrado na profundidade de 0,10 m para possibilitar o fluxo subsuperficial, evitando surgimento de odores desagradáveis, contaminação de operadores no campo e surgimento de insetos causadores de doenças e de animais peçonhentos.

No dimensionamento do sistema alagado construído foi considerada uma vazão de $1,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, taxa de aplicação de $400 \text{ kg de DBO ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e concentração típica de DBO do esgoto doméstico de 300 mg L^{-1} seguindo as recomendações de Matos (2007):

$$As = \frac{Q \cdot C}{Ta} \cdot 10 \therefore As = \frac{1.300}{400} \cdot 10 \therefore As = 8,0 \text{ m}^2 \quad (5)$$

Onde:

As = área superficial do tanque, em m^2 ;

Q = vazão afluente, em $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$;

Ta = taxa de carga orgânica, $\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$; e

C = concentração de DBO afluente, mg L^{-1} .

O sistema alagado construído foi dimensionado para operar com efluente na profundidade de 0,40 m, tendo assim uma área de seção transversal de $0,8 \text{ m}^2$ que possibilita velocidade do fluxo do efluente no meio filtrante (brita, biofilme e raízes) sempre inferior ao valor de $8,6 \text{ m d}^{-1}$, evitando o arraste e danos no biofilme formado, conforme representado na Figura 6.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 6 - Vista frontal do sistema alagado construído após sua finalização (a) e no momento do plantio dos colmos de capim elefante (b).

Reator solar: este possibilita a redução do nível populacional dos coliformes termotolerantes, sendo denominado tratamento terciário. Tal dispositivo foi construído em fibra de vidro (3 mm), no formato cilíndrico, conforme as recomendações de Sanches-Roman et al. (2007) nas dimensões de 1,30 m de diâmetro e 0,40 m de profundidade, dotado de capacidade máxima armazenadora para 0,53 m³ (Figura 7). No interior do reator foi fixada uma régua com precisão de um centímetro para o monitoramento da lâmina de efluente a ser tratado. Este dispositivo foi operado com uma lâmina de efluente de 0,10 m durante um período de exposição à radiação solar de 12 horas, concordando com Moura et al. (2011). Registros de esfera foram instalados a montante e a jusante do reator solar para auxiliar no armazenamento do volume exato efluente durante o monitoramento (Figura 7).



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 7 - Vista frontal do reator solar.

Vala de infiltração: este dispositivo, também, permite o tratamento secundário e terciário do esgoto doméstico. A vala de infiltração só foi utilizada para infiltrar o volume de esgoto doméstico tratado no reator solar, ou seja, cerca de 0,13 m³ a cada ensaio realizado. O restante do volume de esgoto doméstico tratado pelo sistema alagado construído era lançado em um reservatório para posterior aproveitamento na agricultura. Com um ensaio prévio de infiltração constatou-se que o coeficiente de infiltração do solo na área foi de 65 L m⁻² d⁻¹. No dimensionamento da vala de infiltração foram levadas em consideração as recomendações da recomendações NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$A = \frac{V}{Ci} \therefore A = \frac{130}{65} \therefore A = 2,0 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$Ci = \frac{490}{(t+2,5)} \therefore Ci = \frac{490}{(5+2,5)} \therefore Ci = 65 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1} \quad (7)$$

Onde:

A = área superficial da vala de infiltração, m^2 ;

V = volume de esgoto doméstico infiltrado a ser infiltrado no solo, L;

C_i = coeficiente de infiltração, $L\ m^{-2}\ d^{-1}$; e

t = tempo gasto para rebaixamento de um centímetro de água, minutos.

Assim, a vala de infiltração foi construída com tubo corrugado perfurados de 75 mm e envelopado com brita 1. Para tal, foi escavada uma vala em formato prismático com 0,50 m de largura por 4,00 m de comprimento por 0,60 m de profundidade (Figura 8).



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 8 - Vista frontal da vala de infiltração.

Reservatório: este dispositivo permite armazenar o efluente tratado no sistema alagado construído que não foi destinado à vala de infiltração para a fertirrigação de cultivo agrícolas no Assentamento Milagres. Construído em concreto armado com capacidade armazenadora para $10\ m^3$, tendo diâmetro de 3,5 m e profundidade de 1,0 m (Figura 9).



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 9 - Vista frontal do reservatório para armazenamento do excesso de esgoto doméstico tratado no sistema alagado construído.

O monitoramento do sistema foi realizado no período de 1 a 22 de dezembro de 2010, onde foram realizadas quatro amostragens de efluentes nos seguintes pontos do sistema: Ponto 1: efluente coletado na entrada do decanto-digestor; Ponto 2: efluente coletado na saída do decanto-digestor; Ponto 3: efluente coletado à jusante do sistema alagado construído; e Ponto 4: efluente coletado no reator solar.

A caracterização físico-química dos efluentes foi obtida de amostras coletadas nos pontos 1, 2, 3 e 4 do sistema e preservadas, posteriormente, em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C até a entrada no laboratório. Tais amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) onde foram realizadas as análises de: pH, condutividade elétrica (CE) dsm^{-1} , turbidez (TB) UNT, Demanda Química de Oxigênio (DQO) mgL^{-1} , Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mgL^{-1} , sólidos totais (ST) mgL^{-1} , sólidos suspensos (SS) mgL^{-1} , nitrogênio total (Ntotal) mgL^{-1} , fósforo total (Ptotal) mgL^{-1} , óleos e graxas (OG) mgL^{-1} e nitrato (NO_3^-) mgL^{-1} . Ressalta-se que a DQO e DBO foram obtidas somente nos pontos 1 e 4.

Para caracterização microbiológica dos efluentes, amostras foram coletadas nos pontos 1 e 4 do sistema às 14:00 horas. Os frascos utilizados foram esterilizados à 200°C. Estas amostras também foram preservadas em caixa isotérmica com gelo e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal, localizado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CF). Deve-se ressaltar que para avaliar estas características foi necessário o preparo do reator solar, um dia antes da amostragem, ou seja, às 14:00 horas do dia anterior armazenava-se uma lâmina de cerca de 0,10 m de efluente no reator, para exposição à radiação solar local, e posterior coleta no dia seguinte.

O experimento foi montado no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com quatro repetições no tempo. Como as variáveis são qualitativas, optou-se pela seguinte procedimento de análise estatística: a) os dados foram, inicialmente, submetidos a análise de variância, utilizando-se o teste F com significância de até 5%; e b) as médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey com significância de até 5%. As análises estatísticas foram realizadas empregando-se o programa computacional Sisvar 5.1 Build 72 (FERREIRA, 2011).

3.3 OBTENÇÃO DA VAZÃO NO SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO

No período de 1 a 22 de dezembro de 2010 (coleta das amostras de esgoto), foi realizada a medição da vazão que estava passando pelo sistema alagado construído. Para tal, foi utilizado o método gravimétrico. Na Tabela 4 estão apresentados os valores de vazão e do volume de esgoto doméstico medidos na saída do mini-sistema alagado construído no Projeto Assentamento Milagres em Apodi-RN. O volume médio semanal de esgoto foi de 1932 litros, resultando em uma vazão média de 80,51 L h⁻¹.

Tabela 4 - Valores de vazão e do volume de esgoto doméstico medidos na saída do sistema alagado construído no Assentamento Milagres em Apodi-RN.

Data	Dia da semana	Volume (L)	Vazão (L h⁻¹)
11/09/2010	Sábado	1950	81,25
12/09/2010	Domingo	2010	83,75
13/09/2010	Segunda	2030	84,58
14/09/2010	Terça	1890	78,75
15/09/2010	Quarta	1940	80,83
16/09/2010	Quinta	1900	79,17
17/09/2010	Sexta	1806	75,25
Média		1932	80,51

Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE PROTÓTIPOS FUNCIONAIS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

A Tabela 5 contém os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados na mini-estação de tratamento de esgoto doméstico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Tabela 5 - Características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados nos protótipos de tratamento de esgoto doméstico ao longo do período experimental.

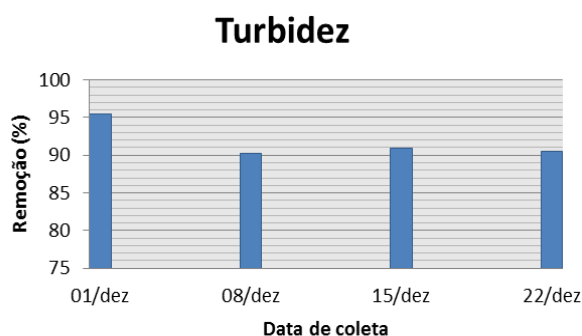
Pontos	pH	CE dS m ⁻¹	TB UT	CT NMP 100mL ⁻¹	CTe	DQO	DBO	ST	SS	P _{total}	N _{total}	OG	NO ₃ ⁻
Amostragem de 1 de dezembro de 2010													
Ponto 1	6,72	2,14	578,50	2,00 x10 ⁸	7,70 x10 ⁶	1075,23	454,72	796	302	8,29	52,18	155,90	5,00
Ponto 2	7,05	1,36	389,20					678	90				
Ponto 3	7,05	1,27	29,10					378	30				
Ponto 4	7,09	1,11	26,30	9,40 x10 ³	4,30 x10 ²	310,12	176,32	356	25	5,41	39,25	0,40	3,19
Amostragem de 8 de dezembro de 2010													
Ponto 1	8,21	1,27	321,17	1,10 x10 ⁷	1,10 x10 ⁵	1222,45	670,90	880	221	5,33	61,79	107,10	5,26
Ponto 2	7,08	1,09	216,70					221	70				
Ponto 3	7,41	1,09	36,70					180	12				
Ponto 4	7,93	1,09	31,30	2,40 x10 ⁴	2,30 x10 ³	210,12	95,12	154	10	0,81	15,87	0,20	5,36
Amostragem de 15 de dezembro de 2010													
Ponto 1	7,48	1,15	438,12	3,10 x10 ⁸	3,30 x10 ⁶	978,43	432,90	760	256	8,90	58,90	178,40	8,79
Ponto 2	7,56	1,10	271,15					345	95				
Ponto 3	7,45	1,07	40,20					220	25				
Ponto 4	7,34	1,03	39,60	6,40 x10 ³	3,20 x10 ²	178,80	89,40	230	24	1,02	13,20	20,00	4,78
Amostragem de 22 de dezembro de 2010													
Ponto 1	7,78	1,45	443,12	5,20 x10 ⁷	2,80 x10 ⁵	1022,32	534,30	902	289	7,80	63,40	165,30	9,10
Ponto 2	7,32	1,32	265,12					358	100				
Ponto 3	7,34	1,35	42,80					245	30				
Ponto 4	7,23	1,31	41,90	5,70 x10 ⁴	2,90 x10 ³	150,32	70,30	230	29	1,32	9,90	1,50	3,33

NOTA: Ponto 1: efluente coletado na entrada do decanto-digestor; Ponto 2: efluente coletado na saída do decanto-digestor; Ponto 3: efluente coletado à jusante do sistema alagado construído; e Ponto 4: efluente coletado no reator solar. pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; TB - turbidez; CT - coliformes totais; CTe - coliformes termotolerantes; DQO - demanda química de oxigênio; DBO - demanda bioquímica de oxigênio; ST - sólidos totais; SS - sólidos suspensos; P_{total} - fósforo total; N_{total} - nitrogênio total; OG - óleos e graxas; e NO₃⁻ - nitrato. Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Foi observado que os valores de pH do esgoto doméstico tratado (ponto 4) atendem ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 430 para lançamento de esgotos domésticos tratados em corpos hídricos (BRASIL, 2011b). Os valores encontrados para pH do efluente não comprometem a operação dos protótipos, tais como problemas de alcalinização e acidificação.

A condutividade elétrica do esgoto doméstico tratado (ponto 4) oscilou de 1,03 a 1,31 dS m⁻¹, nas quatro amostragens. Tais valores observados são inferiores ao limite de 3 dS m⁻¹ apresentado na Portaria n.º 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) para uso agrícola de efluentes tratados.

Comparando os valores de turbidez do efluente coletado nos pontos 1 e 4, nos quatro dias de amostragem, constataram-se remoções de mais de 90%, conforme demonstrado na Figura 10. No ponto 4, os valores de turbidez oscilaram de 26,3 a 41,9 UT.



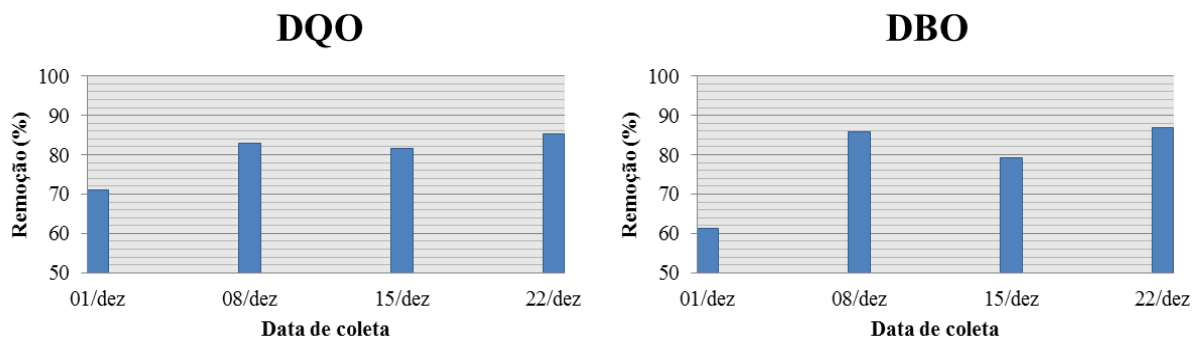
Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 10 - Remoção encontrada para Turbidez.

A concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do efluente no reator solar (ponto 4) oscilou de 150,32 a 310,12 mg L⁻¹, nos quatro dias de amostragem. Constatou-se, ao longo do período experimental, que a DQO atendeu ao limite de 200 mg L⁻¹ para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor (CEARÁ, 2002), somente nos dias 15 e 22 de dezembro de 2010. As remoções de DQO, ao longo do período experimental, foram de 71 a 85%.

Comparando os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dos efluentes coletados nos pontos 1 e 4, nos quatro dias de amostragem, verificou-se que as remoções desta característica oscilaram de 61 a 87%, apresentado na Figura 11, compatíveis com a faixa encontradas por FEITOSA et al. (2011), mas inferiores a faixa de 98 a 100% encontrada por FERREIRA; PAULO (2009). Notou-se, ao longo do período experimental, que os valores da DBO foram inferiores ao limite máximo de 120 mg L⁻¹ estabelecido pela Portaria n.º 154 do

Estado do Ceará para lançamento de esgotos domésticos tratados em corpos hídricos (CEARÁ, 2002).

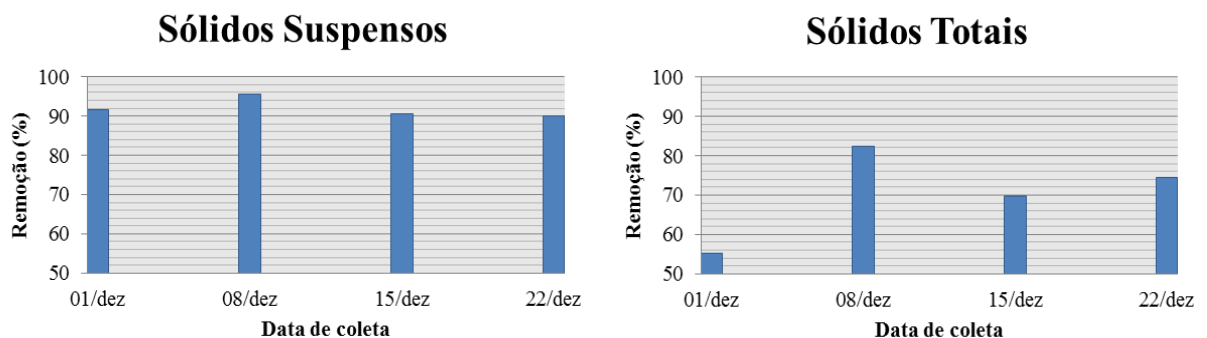


Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 11 - Remoção encontrada para Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Verificou-se que os valores de sólidos suspensos do efluente do reator solar (ponto 4) oscilaram de 10 a 29 mg L⁻¹. Comparando os valores de sólidos suspensos para os pontos 1 e 4 contataram-se remoções de 90 a 95%. De acordo com a Portaria n.º 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002), os resultados de sólidos suspensos foram inferiores ao limite de 50 mg L⁻¹ estabelecido para lançamento de efluentes tratados em corpo hídrico, muito embora a remoção tenha sido ligeiramente superior a faixa de 80 a 88% apresentada por FEITOSA et al. (2011).

As concentrações de sólidos totais variaram de 154 a 356 mg L⁻¹ para os efluentes coletados no reator solar (ponto 4). Notaram-se, também, remoções de sólidos totais variando de 55 a 83%, ao longo do período experimental, conforme mostrado na Figura 12.

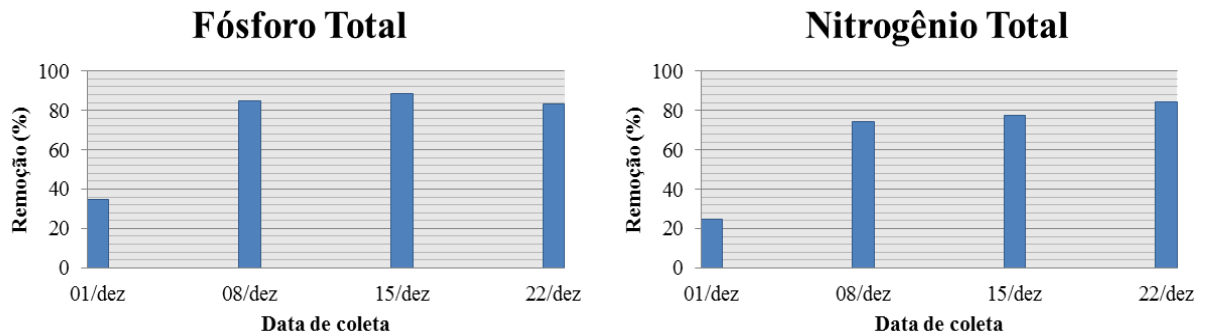


Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 12 - Remoção encontrada para Sólidos Suspensos (SS) e Sólidos Totais (ST).

As concentrações de fósforo nos efluentes coletados no ponto 4 oscilaram de 0,81 a 5,41 mg L⁻¹. Verificou-se que as remoções de fósforo variaram de 35 a 89%, ao longo do período experimental.

O nitrogênio total apresentou variação nas concentrações de 9,90 a 39,25 mg L⁻¹ no efluente do reator solar (ponto 4). Estabelecendo comparações entre os pontos 1 e 4, observou-se variação nas remoções de 25 a 84%, ao longo do período experimental (Figura 13).

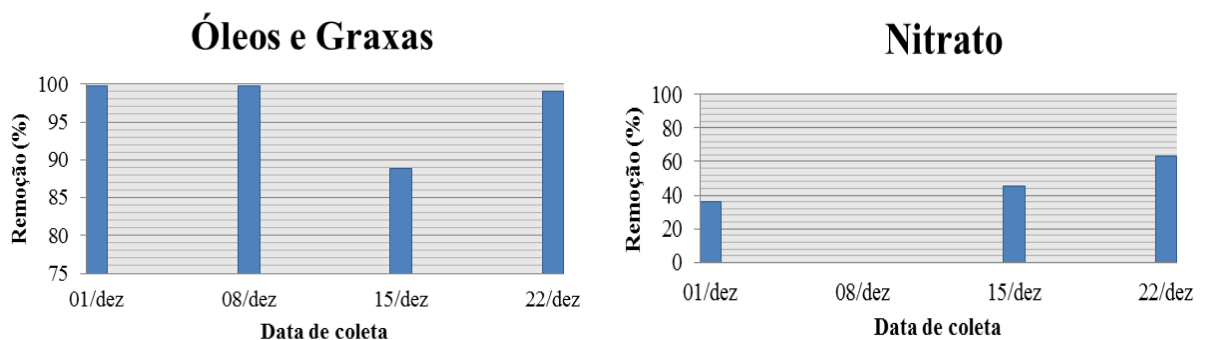


Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 13 - Remoção encontrada para fósforo total e o nitrogênio total.

Os valores de óleos e graxas do efluente do reator solar (ponto 4) apresentaram variação de 0,20 a 2,00 mg L⁻¹. Os resultados obtidos em todo período experimental foram inferiores ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 430 (BRASIL, 2011b) para lançamento de efluentes esgotos domésticos tratados em copo hídrico receptor. As remoções de óleos e graxas variaram de 98,9 a 99,8%, ao longo do período experimental.

O efluente do reator solar (ponto 4) apresentou valores de nitrato que variaram de 3,19 a 5,36 mg L⁻¹. As remoções de nitrato oscilaram de 0 a 63%, ao longo do período experimental, apresentados na Figura 14. Admitindo possibilidade de falha da coleta de dados de nitrato no dia 8 de dezembro, ou processo de nitrificação do efluente no período. Desconsiderando-se o resultado encontrado para o dia supracitado, observa-se que a remoção é ligeiramente inferior a faixa de 53% a 59% apresentada por BATISTA et al. (2012).

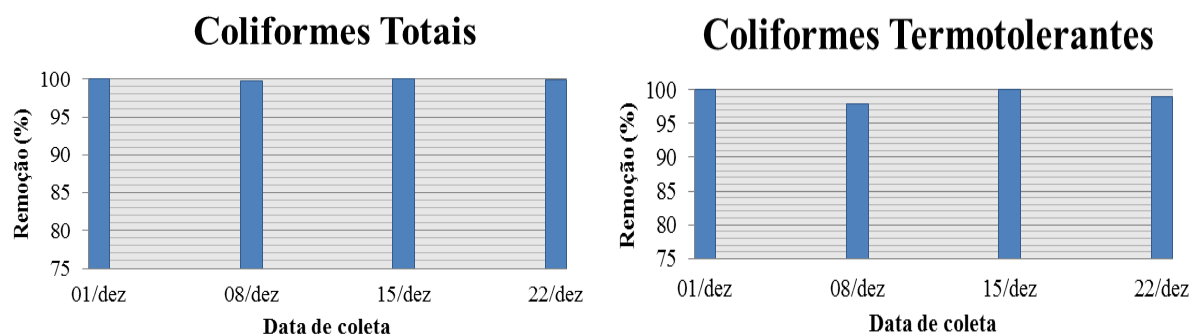


Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 14 - Remoção encontrada pra óleos e graxas e nitrato.

Nas características microbiológicas houve redução no nível populacional de

coliformes totais e termotolerantes quando se estabelece comparação entre os pontos 1 e 4, durante o período experimental. As remoções de coliformes totais e termotolerantes variaram de 99,78 a 99,99 e de 97,91 a 99,99%, respectivamente, com radiação solar variando de 18,55 a 29,56 MJ m⁻² d⁻¹ (Quadro 6). Remoção muito semelhante à encontrada por FEITOSA et al. (2011), e em conformidade com os limites estabelecidos Portaria n.º 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002), assim sendo, o efluente atende as recomendações para reuso da água em culturas não consumidas cruas, onde o nível populacional de coliforme termotolerantes deve ser inferior a 5000 NMP 100 mL⁻¹ (Número Mais Provável por 100 mL) conforme apresentado na Figura 15.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 15 - Remoção do nível populacional de coliformes totais e termotolerantes.

Os valores de radiação foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período experimental, conforme apresentado na Tabela 6. A radiação solar oscilou de 18,55 a 29,56 MJ m⁻² d⁻¹ no período experimental, tendo o valor médio de 25,16 MJ m⁻² d⁻¹. Como os valores da turbidez na saída do reator solar oscilaram de 26,3 à 41,9 UNT e não houve efeito considerável de aquecimento do efluente, as remoções de coliformes totais e termotolerantes não sofreram interferência da oscilação da radiação solar.

Tabela 6 - Valores integralizados de radiação global nos dias do monitoramento dos protótipos de tratamento de esgoto doméstico.

Data	Radiação acumulada (MJ m ⁻² d ⁻¹)
30/11 a 01/12	28,73
07/12 a 08/12	29,56
14/12 a 15/12	18,55
21/12 a 22/12	23,79
Média	25,16

Fonte: Dados obtidos no INMET.

A Tabela 7 contém os valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas, químicas e microbiológicas do esgoto doméstico nas etapas de tratamento referentes aos pontos 1, 2, 3 e 4.

Pela análise de variância, constatou-se que as características pH, condutividade elétrica, coliformes totais e nitrato não foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. Enquanto, as características turbidez, coliformes termotolerantes, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo, nitrogênio total e óleos e graxas foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, o que permite a utilização do teste de Tukey para comparação das médias.

Comparando os pontos 1 e 4 da mini-estação, verificou-se que as características turbidez, coliformes termotolerantes, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo, nitrogênio total e óleos e graxas diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

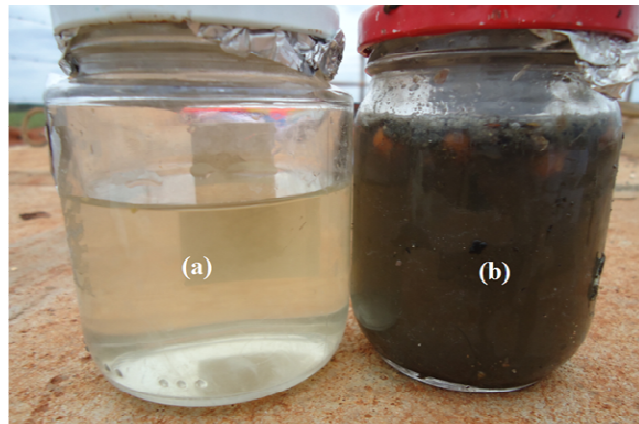
Tabela 7 - Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas do esgoto doméstico nos pontos de amostragem 1, 2, 3 e 4 dos protótipos de tratamento de esgoto doméstico.

Característica	F	Amostragem			
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
pH	0,17 ^{ns}	7,55	7,40	7,31	7,25
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	2,56 ^{ns}	1,50	1,22	1,20	1,14
Turbidez (UNT)	60,59*	445,23a	285,54a	37,20b	34,78b
Coliformes totais (NMP 100 mL)	87,98*	7,7x10 ⁷ a			1,7x10 ⁴ b
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL)	35,59*	9,4x10 ⁵ a			9,8x10 ² b
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	184,42*	1064,71a			212,34b
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	50,04*	523,21a			107,79b
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	121,25*	834,50a	400,50b	255,75b	242,50b
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	173,48*	267,00a	88,75b	24,25c	22,00c
Fósforo (mg L ⁻¹)	16,33*	7,58a			2,14b
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	30,78*	59,07a			19,56b
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	93,69*	151,68a			1,03b
Nitrato (mg L ⁻¹)	5,47 ^{ns}	7,04			4,17

* F significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os indicadores visuais demonstram nitidamente o nível de tratamento obtido na miniestação de tratamento do efluente. Na Figura 16 é possível verificar a diferença visual do efluente bruto para o efluente tratado. Notou-se que o sistema proporcionou ótima remoção de turbidez, sólidos e carga orgânica com tratamento preliminar/primário no decanto digestor,

tratamento secundário/terciário no sistema alagado construído e tratamento terciário no reator solar.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 16 - Indicador visual do nível de tratamento obtido na mini-estação. Efluente tratado (a) e efluente sem tratamento (b).

5 CONCLUSÕES

O uso conjunto de decanto-digestor, sistema alagado construído e reator solar apresentou, durante o período experimental, bom desempenho, com remoções significativas de turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, sólidos suspensos, fósforo nitrogênio total e óleos e graxas.

O efluente tratado atendeu aos parâmetros nacionais para lançamento de esgoto tratado em corpo hídricos, nos índices referentes a pH, óleos e graxas e Demanda Bioquímica de Oxigênio.

O reator solar apresentou-se como alternativa viável do ponto de vista de remoção dos coliformes termotolerantes, removendo até 99,99%, para um valor médio de radiação solar de $25,16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ com uso de uma lâmina de 0,10 m de efluente e tempo de exposição solar 12 horas, como a radiação ocorrida no município de Apodi-RN.

Quanto ao padrão microbiológico, o efluente tratado atende as diretrizes estaduais para fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus. Sendo alternativa para produção de cultura forrageira usada para alimentação de animais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo, Prol Editora Gráfica, 2005. 152p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7.229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.969. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 60 p.

BATISTA, R. O. et al. **Remoção de nitrato e condutividade elétrica em biofiltros operando com esgoto doméstico primário**. 2012. Disponível em: <<http://rioverde.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/491/289>>. Acesso em 15 de mar. 2014.

BEZERRA SÁ, I.; SILVA, P. C. G. (Eds.) **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: EMBRAPA, 2010. 402p.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 318 p.

BRASIL (2011). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial, Brasília, 2011. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 03 jan. 2014.

BRASIL (2009). **Transversal: saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações tradicionais**. Brasília: MC, 2009, 88p. (Guia do profissional em treinamento: nível 2).

BRASIL (2007a). **GEO Brasil recursos hídricos: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Resumo executivo**. Brasília: ANA/MMA, Imprensa Nacional, 2007a, 60 p.

BRASIL (2007b). **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 2007b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 15 jan. 2014.

BRASIL (2006). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: MS, 2006. 212p (Série B. Textos básicos de saúde).

BRASIL (2005a). **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília: MI, 2005a. 35p (Cartilha de delimitação do semiárido). Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/UserFiles/File/cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf>. Acesso

em: 25 de set. 2013.

BRASIL (2005b). **Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos Nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2014.

BRASIL (1997). **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial, Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>. Acesso em: 17 jan. 2014.

BRASIL (1986). **Resolução nº20, de 18 de junho de 1986**. Estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em 25 jan. 2014.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n.3, p.323-328, 2008.

BRASIL, M. S. **Desempenho de sistema alagado construído para tratamento de esgoto doméstico**. 2005. 174f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (suplemento), p. 133-137, 2005.

CEARÁ (2002). **Portaria nº154, de 22 de julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em:<http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 25 jan. 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, C. A.; PAULO, P. L. **Eficiência de wetlands construídos para o tratamento domiciliar de água cinza com configuração diferenciada**. 2009. Disponível em: <<http://www.propp.ufms.br/gestor/titan.php?target=openFile&fileId=460>>. Acesso em: 10 de mar. 2014.

FEITOSA A. P., et al. **Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro**. 2011. Disponível em: <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental//include/getdoc.php?id=1733&article=604&mode=pdf>>. Acesso em 10 de mar. 2014.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA (UNICEF). **O semi-árido brasileiro e a segurança alimentar e nutricional de crianças e adolescentes**. Brasília: 2005, 73p. Disponível em: < http://www.unicef.org/brazil/pt/caderno_completo.pdf> Acesso em: 25 jan. 2014.

GOOGLE EARTH 7.0.2 Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 28 jan. 2014.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p. 131-158. 2008.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.13, n. ESPECIAL, p.411-437. 2003.

MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.5, n.2, p. 119-132, 2010.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 140 p. (Caderno didático n. 38).

MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. Tradução All tasks; revisão técnica Wellington Braz Carvalho Delitti. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 501p.

MOURA, F. N. BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 270-283, 2011.

RODRIGUES, R. S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reuso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reuso no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo.

SANCHES-RAMON, R.; SOARES, A. A.; MATOS, A.T; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, O.; MOUNTEER, H. A. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n.1, p. 65-71, 2007.

PEREIRA, R. S. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH-UFRGS. v. 1, n. 1. p. 20-36. 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Escassez de água, uma crise silenciosa**. Brasília: 2005. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/Noticia.aspx?id=3509>> Acesso em: 14 de dez. 2010.

PROCHASKA, C.A.; ZOUBOUSLIS, A.I. Treatment performance variation at different depths within vertical subsurface-flow experimental wetlands fed with simulated domestic sewage. **Desalination**, Amsterdam, v.237, n.1-3, p.367-377, 2009.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Org.) **Clima e recursos hídricos no Brasil**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348 p.(Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.9)

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human development report 2006: power, poverty and the global water crisis**. New York, 2006. 440p.

VALENTIM, M. A. A., **Desempenho de leitos cultivados (“Constructed Wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação**. 2003. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, 2003.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 231p.

ANEXO

Tabela 8 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos	bacia sanitária	480	4,0

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Tabela 9 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Tabela 10 - Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Tabela 11 - Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).