UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ANA BEATRIZ ALVES DE ARAÚJO

PROJETO DE SISTEMA ECOLÓGICO DE TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA NO CAMPUS LESTE DA UFERSA, MOSSORÓ-RN

MOSSORÓ/RN
2018

ANA BEATRIZ ALVES DE ARAÚJO

PROJETO DE SISTEMA ECOLÓGICO DE TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA NO CAMPUS LESTE DA UFERSA, MOSSORÓ-RN

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro de Engenharia e Ciências Ambientais para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ/RN
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A658p Alves de Araújo, Ana Beatriz.
PROJETO DE SISTEMA ECOLÓGICO DE TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA NO CAMPUS LESTE DA UFERSA, MOSSORÓ-RN / Ana Beatriz Alves de Araújo. - 2018.
54 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2018.

1. Escassez hídrica. 2. Efluentes. 3. Mitigação. 4. Reúso. 5. Legislação ambiental. I. Oliveira Batista, Rafael, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA BEATRIZ ALVES DE ARAÚJO

PROJETO DE SISTEMA ECOLÓGICO DE TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA NO CAMPUS LESTE DA UFERSA, MOSSORÓ-RN

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADA EM: 11/04/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista - UFERSA
Presidente

Profa. Dr. Marineide Jussara Diniz - UFERSA
Primeiro Membro

Profa. Dr. Daniela da Costa Leite Coelho - UFERSA
Segundo Membro

A pessoa mais importante da minha vida, minha mãe,
Alice Alves de Araújo.

AGRADECIMENTOS

A realização dessa pesquisa só foi possível graças:

Primeiramente a Deus, por sua infinita misericórdia e por me ter mantido de pé por toda esta caminhada.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e a todos os professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, pelos conhecimentos adquiridos.

Em especial a Rafael Oliveira Batista, principalmente pela confiança e também pelo trabalho de orientação, sendo fundamental a sua participação para concretização dessa pesquisa.

A minha mãe e amigos, companheiros de toda a minha história, só eles sabem o real valor dessa conquista.

Aos professores que aceitaram o convite para participar da banca de defesa, contribuindo para o aprimoramento desse trabalho.

RESUMO

Observa-se uma crescente importância do tema reúso da água no contexto das construções sustentáveis. Atualmente o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água com qualidade é um dos problemas que vêm atingindo, principalmente, as grandes populações urbanas. Nesse contexto, aparece a necessidade de estímulos a práticas, programas e políticas que auxiliem na conservação da água. O reúso da água constitui-se em uma atividade estratégica, além de ser uma importante ferramenta na gestão integrada dos recursos hídricos. Diante o exposto, quanto ao reúso da água, existe a possibilidade de utilização das águas residuárias sanitárias para fins de irrigação. O presente trabalho teve por objetivo geral o desenvolvimento do projeto de um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária no campus leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN, para mitigar possíveis impactos ambientais causados. Para isso, realizou-se o dimensionamento de um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária, dotado do levantamento de informações necessárias à elaboração do projeto executivo, onde foi possível estimar que nesta instalação aproximadamente 61 pessoas geram cerca de 3,05 m^3 d^{-1} de água residuária sanitária tratada; e também dimensionar os sistemas de tratamento; constituído de um tanque séptico com duas câmaras, um sistema alagado construído tendo como planta extratora o capim elefante e um reator solar; como também elaborar os memoriais de cálculo e descritivo, orçamento, confecção de desenhos técnicos e a montagem do projeto executivo dos sistemas.

Palavras-Chave: Escassez hídrica. Efluentes. Mitigação. Reúso. Legislação ambiental

ABSTRACT

There is a growing importance about the reuse of water in the context of sustainable construction. Currently, the increasing demand and the reduction in the supply of quality water is one of the problems that have been affecting mainly large urban populations. In this context, the need for stimuli to practices, programs and policies that help in water conservation appears. The reuse of water is a strategic activity, as well as being an important tool in the integrated management of water resources. In view of the above, regarding the reuse of water, there is the possibility of using sanitary wastewater for irrigation purposes. The objective of this study was to develop an ecological system for the treatment and agricultural use of wastewater in the eastern campus of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), in Mossoró/RN, to mitigate possible environmental impacts caused. In order to achieve this, the design of an ecological system for the treatment and agricultural use of sanitary wastewater was carried out, with the necessary information to prepare the executive project, where it was possible to estimate that in this facility approximately 61 people generate about 3.05 m^3 d^{-1} of treated wastewater; and also dimension the treatment systems; consisting of a septic tank with two chambers, a flooded system constructed with elephantgrass and a solar reactor; as well as to elaborate the memorials of calculation and descriptive, budget, preparation of technical drawings and the assembly of the executive project of the systems.

Keyword: Water shortage. Effluents. Mitigation. Reuse. Environmental legislation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Funcionamento geral de um tanque séptico 20
Figura 2. Classificação dos sistemas alagados construídos para o tratamento de águas residuárias 22
Figura 3. Sistema para desinfecção solar de águas residuárias domésticas.....24
Figura 4. Imagem da área experimental onde foi construída a estação ecológica de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária na UFERSA, Mossoró/RN 26
Figura 5. Vista superior do tanque séptico.....31
Figura 6. Brita gnaisse n° 1 (a) e espécie vegetal Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*) (b) 32
Figura 7. Vista superior do sistema alagado construído.....33
Figura 8. Vista superior do reator solar 34
Figura 9. Vista superior da vala de infiltração.....35
Figura 10. Vista superior do reservatório 36
Figura 11. Vista da área experimental onde se encontra o sistema ecológico de tratamento de água residuária sanitária 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões para reúso em atividades urbanas, irrigação paisagística, agrícola e florestal, ambiental e industrial.....19
Tabela 2. Material utilizado na construção no sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.....37
Tabela 3. Mão de obra utilizada na construção do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.....38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

CE Condutividade elétrica

CT Coliformes termotolerantes

COEMA Conselho Estadual de Meio Ambiente do Governo do Estado do Ceará

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio

DNA Ácido desoxirribonucleico

NBR Norma Brasileira

ND Não detectado

PVC Policloreto de polivinila

pH Potencial hidrogeniônico

RAS Razão de adsorção de sódio

RN Rio Grande do Norte

SACs Sistemas alagados construídos

SEMACE Secretaria de Meio Ambiente do Governo do Estado do Ceará

UFERSA Universidade Federal Rural do Semi-Árido

UV Radiação ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO....13
2 OBJETIVOS....15
2.1 OBJETIVO GERAL....15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....15
3 REVISÃO DE LITERATURA... 16
3.1 REÚSO DE ÁGUAS....16
3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA A ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA....18
3.3 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS SANITÁRIA....20
3.3.1 Tanque séptico....20
3.3.2 Sistema Alagado Construído....21
3.3.3 Reator Solar....23
4 DESENVOLVIMENTO....26
4.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO DO PROJETO....26
4.2 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO....27
4.3 MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO....27
4.3.1 Tanque séptico....27
4.3.2 Sistema Alagado Construído....28
4.3.3 Reator Solar....29
4.3.4 Vala de Infiltração....29
4.3.5 Reservatório....30
4.4 MEMORIAL DESCRITIVO....30
4.4.1 Tanque Séptico....30
4.4.2 Sistema Alagado Construído....32
4.4.3 Reator Solar....33
4.4.4 Vala de Infiltração....34
4.4.5 Reservatório....35
4.5 MATERIAIS E MÃO DE OBRA UTILIZADA....37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS....39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....40

APÊNDICE A – Vistas superiores do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária 44
APÊNDICE B – Cortes do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.....44
APÊNDICE C – Vista superior e corte do tanque séptico 46
APÊNDICE D – Vista superior e corte do sistema alagado construído.....47
APÊNDICE E – Vista superior e corte do reator solar.....48
APÊNDICE F – Vista superior e corte do reservatório solar.....49
APÊNDICE G – Vista superior e corte da vala de infiltração.....50
ANEXO A – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.....51
ANEXO B – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.....52
ANEXO C – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil 53
ANEXO D – Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio ocupante.....54

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são empregados em todo o mundo com diversas finalidades, entre as quais se sobressaem o fornecimento de água, a geração de energia, a irrigação, a navegação e a aquicultura. A água é um elemento essencial a todos os organismos vivos. No entanto, nas últimas décadas, esse valioso recurso vem sendo ameaçado pelas ações impróprias do homem, o que acaba resultando em prejuízo para a própria humanidade.

A água é um recurso natural fundamental para a vida, sendo indispensável em praticamente todas as atividades humanas. O crescimento demográfico urbano e o aumento do consumo "per capita" nas cidades têm demandado cada vez mais quantidades de água tratada para o abastecimento público. A gestão responsável da água é fundamental para o desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, observa-se uma crescente importância do tema reúso da água no contexto das construções sustentáveis. A busca por soluções tecnológicas que visam um melhor aproveitamento dos recursos naturais, maior conforto e economia nas construções, não para de aumentar, objetivando sempre atingir o mínimo impacto e a máxima integração com o ambiente. Em especial, a preocupação com o aumento da demanda por água tratada, tem feito com que o reúso da água ganhe a cada dia maior destaque no cenário mundial.

Atualmente o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água com qualidade é um dos problemas que vêm atingindo, principalmente, as grandes populações urbanas. O aumento da poluição dos mananciais e o crescimento populacional desordenado são alguns dos itens que contribuem para esse panorama.

Assim, aparece a necessidade de estímulos a práticas, programas e políticas que auxiliem na conservação da água. A promoção de atividades conservacionistas como o desenvolvimento de fontes alternativas para abastecimento de água, o reúso da água, a recarga artificial de aquíferos, o aproveitamento de águas pluviais, entre outros, são algumas alternativas.

O aproveitamento de águas residuárias domésticas constitui-se em um elemento estratégico e é uma importante ferramenta na gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que permite uma redução na demanda por água de boa qualidade, elevando o volume de oferta e suprindo com eficiência as demandas do setor já que além do potencial hídrico, também oferece o aporte nutricional; diminuindo também o

lançamento de efluentes em corpos receptores (ALVES et al., 2009; REBOUÇAS et al., 2010).

Assim, reúso de água na agricultura pode ser observado em diversos países, em que a sua utilização proporciona um ganho econômico e ambiental, através da redução da água de qualidade superior e insumos agrícolas como fertilizantes. Entretanto, é preciso ter atenção, pois as águas residuárias domésticas possuem microrganismos patogênicos que devem ser inativados antes da sua disposição final no solo (QUELUZ et al., 2015).

Sendo assim, apesar dos benefícios gerados, o reúso de água deve ser realizado de maneira a garantir o estabelecimento dos padrões de qualidade da água de acordo com a legislação vigente, principalmente, no que diz respeito ao seu aspecto microbiológico, para cada tipo de cultura, visto que é um dos principais entraves na aceitação por parte da população de produtos que foram produzidos utilizando águas residuárias tratadas.

Diante do exposto, quanto ao reúso de águas, existe a possibilidade de utilização das águas residuárias sanitárias tratadas. Dentro dessa perspectiva, enquadra-se esse trabalho, que apresentará o dimensionamento de sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária no campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada em Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte (RN).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o projeto de dimensionamento de um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária no campus leste da UFERSA, em Mossoró/RN, visando mitigar possíveis impactos ambientais causados por este resíduo líquido.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

• Levantar dados necessários para o dimensionamento do sistema ecológico de água residuária sanitária para reuso agrícola e florestal; e,

• Apresentar os elementos básicos de um projeto executivo do sistema ecológico de água residuária sanitária: memorial de cálculo, memorial descritivo, orçamento detalhado e desenhos técnicos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 REÚSO DE ÁGUA

Segundo Bazzarella (2005), a água é um recurso natural renovável, graças ao ciclo hidrológico, mas de volume finito. O crescimento populacional das últimas décadas teve como consequência o aumento na demanda pelos recursos hídricos, tanto para a produção de alimentos quanto para o abastecimento urbano. Também, o lançamento de resíduos líquidos sem tratamento tem afetado negativamente a qualidade das águas. Além disso, as fontes de água de boa qualidade estão se tornando cada vez mais escassas e, em muitas regiões do mundo, não há disponibilidade de água para suprir as necessidades diárias da população. Estes fatos indicam que os recursos hídricos estão sendo contaminados de maneira descontrolada e mostram a importância de se enviar todos os esforços para a preservação desse recurso natural (QUELUZ et al., 2015).

Nesse contexto, o reúso de águas residuárias domésticas é uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos, uma vez que permite uma redução na demanda por água de boa qualidade e diminui o lançamento de efluentes em corpos receptores. Além disso, as águas residuárias são fontes potenciais de água e nutrientes para as culturas agrícolas e florestais. Entretanto, as águas residuárias domésticas possuem microrganismos patogênicos que devem ser inativados antes da sua disposição final no solo (QUELUZ et al., 2015).

Por definição, "Reúso da água é a reutilização da água, que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos, com o objetivo de se preservarem os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade" (FERNANDES et al., 2006, p. 20). É destacado, ainda, que o conceito de reúso planejado da água já existe e é aplicado com sucesso em vários países, e que a racionalização e a reutilização dos recursos hídricos pode dar uma contribuição significativa. Ainda, sobre esse item, tem-se o conceito de substituição de fontes, que segundo Hespanhol (2003), apresenta-se como uma opção muito boa para atender demandas que não necessitam de água de primeira qualidade.

Segundo Cavalcante (2017), as águas residuárias domesticas, podem se tornar uma preciosa fonte hídrica, quando devidamente tratada por causa da redução dos contaminantes microbiológicos e químicos a níveis aceitáveis para o reúso desejado. A

qualidade das fontes das águas residuárias domesticas a serem reutilizadas, determinarão quais técnicas serão adequadas para a inativação dos microrganismos presente nesses efluentes. Em países avançados tecnologicamente a reutilização das águas residuárias domesticas seguem de acordo com regulamentos ambientais, visando à proteção da saúde humana e do meio ambiente, sendo atualizados em intervalos de tempos específicos.

A crescente preocupação com a preservação dos recursos hídricos, reflexo da perplexidade diante da degradação ambiental em nível mundial, tem levado à elaboração de legislação mais rigorosa, no intuito de proteger a qualidade dos recursos naturais, bem como à criação de órgãos fiscalizadores, cada vez mais atuantes. Segundo Chernicharo et al., (2006), as principais tecnologias de tratamento de águas residuárias são as seguintes:

• Tratamento preliminar: tem por intuito extrair as partículas sólidas grosseiras (granulometrias maiores que 0,25 mm) em suspensão nos esgotos domésticos, por meio de procedimentos físicos. Grades, caixas de areia para a remoção de sólidos sedimentáveis e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas pertencem a essa classe;

• Tratamento primário: tem por objetivo a diminuição de sólidos em suspensão por meio de estruturas em alvenaria com tempo de detenção maior que o dos tratamentos preliminares ou de equipamentos com precipitantes químicos. Nessa etapa pode, também, ocorrer à degradação anaeróbia do material orgânico em suspensão, provocando o tratamento secundário. Sedimentadores, flotadores e filtros competem a essa classe;

• Tratamento secundário: objetiva a diminuição de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. Os processos biológicos de remoção empregados classificam-se em: aeróbio - utiliza microrganismos que precisam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, provido por aeradores mecânicos ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza microrganismos que não precisam de oxigênio dissolvido no meio líquido, sendo empregado em esgotos domésticos com alta carga orgânica (biodigestores, reatores e lagoas anaeróbias);

• Tratamento terciário: tem por intuito a redução do nível populacional de bactérias patogênicas, bem como a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores. De modo geral, são utilizados quando o esgoto doméstico é lançado em corpos hídricos receptores ou

para a reutilização da água. Os filtros biológicos, lagoas de maturação e lagoas de aguapés pertencem a essa classe.

• Tratamento secundário/terciário: objetiva a disposição controlada de águas residuárias no solo. A fertirrigação é outra possibilidade para o tratamento dos resíduos prejudiciais ao meio ambiente. No entanto, o problema consiste na disponibilização de quantidades de nutrientes superiores à capacidade de absorção pela cultura e retenção pelo solo. Em geral, o sódio, o nitrogênio, o potássio e os metais pesados são utilizados como elementos referenciais para a obtenção das taxas de aplicação de águas residuárias, conforme sua natureza (MATOS, 2007).

3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA A ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA

Recentemente foi publicada a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA) n° 2, de 2 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias da Secretaria de Meio Ambiente do Governo do Estado do Ceará (SEMACE) nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002 (CEARÁ, 2017). Esta resolução apresenta nos Artigos 38, 39, 40 e 43 os padrões de reuso da água para atividades urbanas, irrigação paisagística, agrícola e florestal, e ambiental e industrial (Tabela 1).

Os efluentes de qualquer fonte poluidora, de acordo com o Artigo 3º da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 430/2011, "somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis" (BRASIL, 2011), como Resolução n° 02/2017 do COEMA, por exemplo. Essa incumbência, juntamente com a necessidade de se tratar os resíduos líquidos gerados, levou a indispensabilidade da utilização de sistemas de tratamento para que, por meio a processos físicos, químicos e biológicos, se possa reduzir a poluição ambiental, a mortandade da biota e os custos com a utilização de águas de boa qualidade, bem como, melhorar a saúde pública.

Na Resolução COEMA n° 02/2017, efluentes sanitários é a denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não

domésticos; enquanto água de reuso é o efluente que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas (CEARÁ, 2017).

Tabela 1. Padrões para reúso em atividades urbanas, irrigação paisagística, agrícola e florestal, ambiental e industrial.

Finalidade do Reúso	**Artigo**	**Parâmetros**		**Valor**
Urbano	38	Coliformes termotolerantes (CT)		Até 5000 CT.100 mL^{-1}
		Ovos helmintos		Até 1ovo.L^{-1} de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3000 µS.cm^{-1}
		pH		Entre 6,0 e 8,5
Irrigação paisagística		Coliformes termotolerantes (CT)		Até 1000 CT.100 mL^{-1}
		Ovos helmintos		Até 1ovo.L^{-1} de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3000 µS.cm^{-1}
		pH		Entre 6,0 e 8,5
Agrícola e Florestal	39	Coliformes termotolerantes	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com a água de irrigação	Não Detectado (ND)
			Demais culturas	Até 1000 CT.100 mL^{-1}
		Ovos de helmintos	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com a água de irrigação	Não Detectado (ND)
			Demais culturas	Até 1ovo.L^{-1} de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3000 µS.cm^{-1}
		Potencial hidrogeniônico (pH)		Entre 6,0 e 8,5
		Razão de adsorção de sódio (RAS)		(15 mmolcL^{-1}) $^{1/2}$
Ambiental	40	Coliformes termotolerantes (CT)		Até 10.000 CT.100 mL^{-1}
		Ovos helmintos		Até 1 ovo.L^{-1} de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3000 µS.cm^{-1}
		Potencial hidrogeniônico (pH)		Entre 6,0 e 8,5
Industrial	43	A qualidade da água de reuso interno para fins de uso dentro do processo industrial será de responsabilidade do empreendedor.		Atende aos artigos 38 ao 41

Fonte: Adaptado da Resolução COEMA n° 02/2017 (CEARÁ, 2017).

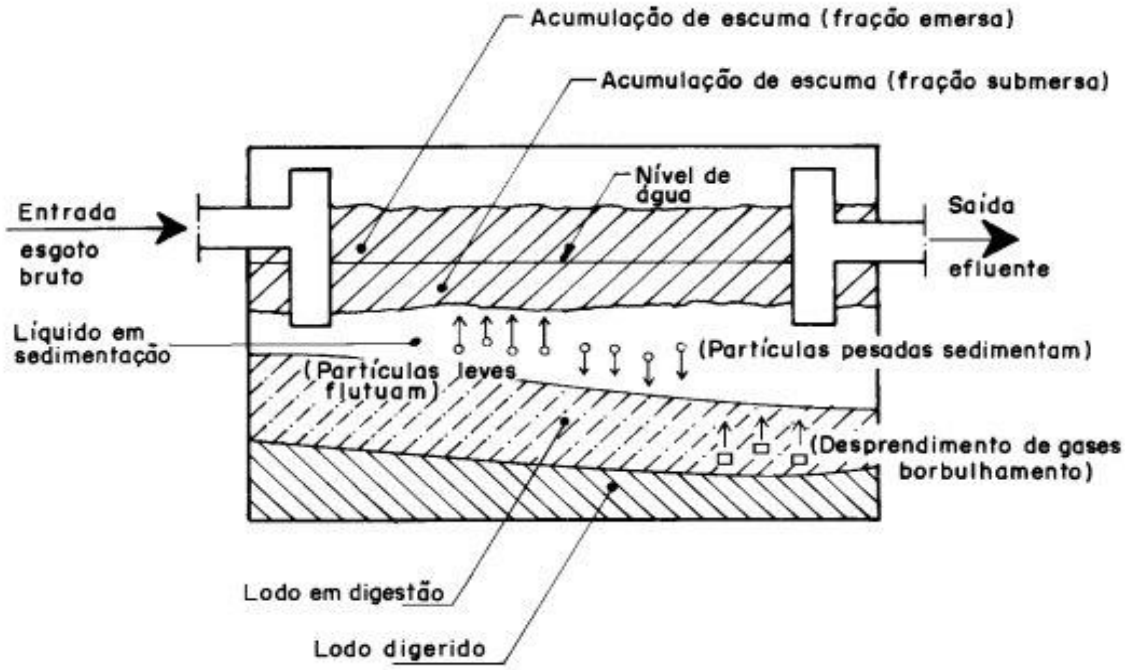
3.3 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS SANITÁRIAS

Para o tratamento de águas residuárias sanitária existem diversas tecnologias, entretanto o tanque séptico, o sistema alagado construído e o reator solar, se destacam para uso em regiões semiáridas em função do moderado custo implantação e baixo custo de manutenção, além ainda da eficiência na remoção de contaminantes que inviabilizem o uso do efluente para fins agrícola e florestal.

3.3.1 Tanque séptico

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 7.229 (ABNT, 1993), o tanque séptico de câmara em série é uma unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão. Na Figura 1 pode-se ver o funcionamento geral de um tanque séptico.

Figura 1. Funcionamento geral de um tanque séptico.



Fonte: NBR 7.229 (ABNT, 1993).

De acordo com Feitosa (2016), os tanques sépticos começaram a ser difundidos no Brasil na década de 30. Dentre as técnicas de tratamento de esgoto, o tanque séptico se destaca mundialmente devido ao baixo custo de implementação e a facilidade de construção e operação (COLARES et al., 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 7.229, orienta a construção e operação do tanque séptico, porém devido à falta de análise dos projetos, do acompanhamento da execução e da operação dos mesmos, as condições operacionais normalmente não são eficientes. Os tanques sépticos possuem dois formatos: cilíndricos ou prismáticos retangulares. Os cilíndricos são utilizados em circunstâncias onde se deseja minimizar a área útil em favor da profundidade; já os prismáticos retangulares, nas situações em que se pretendam maiores área horizontais e menor profundidade (ABNT, 1993).

Feitosa (2016) ressalta que o tanque séptico é recomendado para utilização geralmente em áreas que não possuem rede pública coletora de esgoto, como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora local; para retenção prévia de sólidos sedimentáveis; quando a utilização da rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzida para o transporte de efluentes livres de sólidos sedimentáveis. E mesmo com vantagens significantes em sua utilização, a eficácia do tanque séptico para remoção de matéria orgânica é moderada, necessitando de um pós-tratamento para obter um nível recomendado de remoção da matéria orgânica.

3.3.2 Sistema Alagado Construído

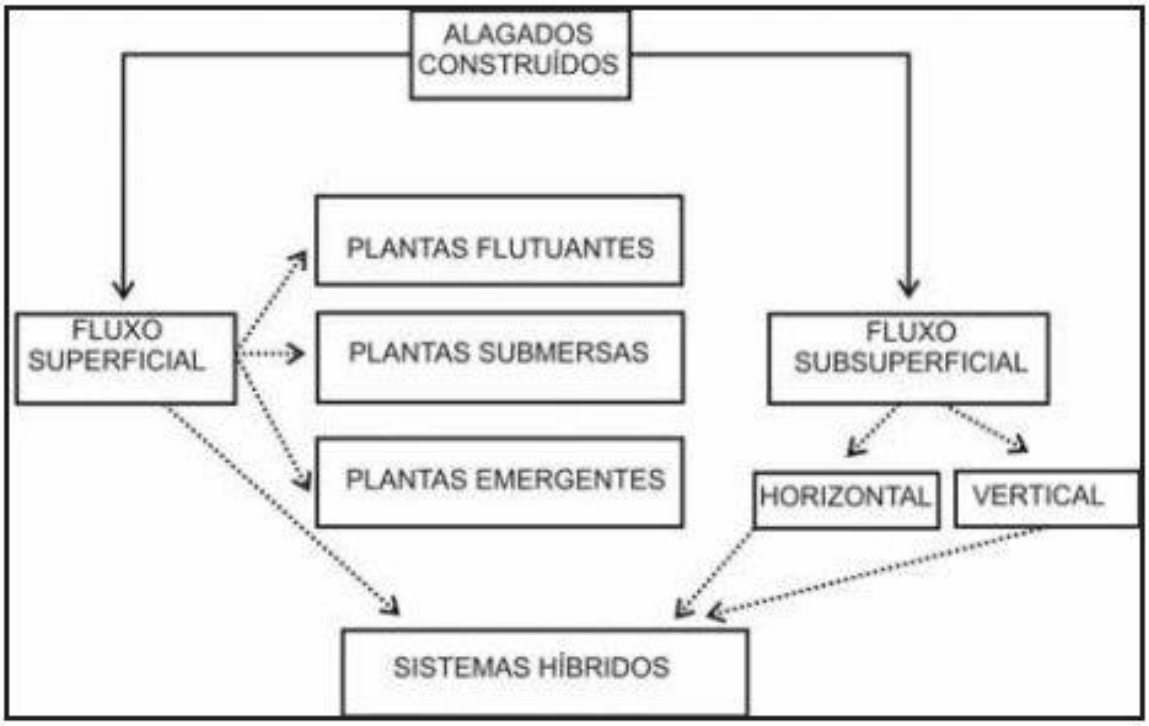
Os sistemas alagados construídos (SACs) são dispositivos que utilizam o princípio do solo úmido cultivado, onde o complexo solo-microrganismos-rizosfera da planta é responsável pela despoluição das águas residuárias. Esses dispositivos podem desempenhar funções semelhantes ao tratamento convencional das águas residuárias domésticas por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Porém, o tratamento com sistemas alagados construídos é mais indicado para pequenas comunidades, inclusive as comunidades rurais. Nesse tipo de sistema é possível obter tratamento terciário em uma única unidade, com custos bastante reduzidos, e também utilizar plantas produtoras de grãos, agregando benefícios econômicos, financeiros e ambientais (SILVA; BERNARDES; RAMOS, 2015).

Segundo Brasil, Matos e Soares (2007), o sistema alagado construído se baseia

em processos bióticos e abióticos. Os processos bióticos contemplam a ação de microrganismos, que crescem aderidos à fração sólida do substrato ou na raiz e no colo das plantas, de mineralizar o material orgânico presente na água residuária, transformar formas químicas (ex. nitrificação-desnitrificação) e das plantas em absorver nutrientes colocados em solução no meio. Os processos abióticos incluem a precipitação química, sedimentação e adsorção de íons no substrato.

Existem dois critérios que são mais relevantes quanto à classificação dos sistemas alagados construídos, que são: o regime do fluxo da água (superficial ou subsuperficial) e o tipo de crescimento da macrófita utilizada. Os SACs possuem sistemas híbridos ou combinados, e esses diferentes tipos podem ser combinados uns com os outros a fim de explorar as vantagens específicas dos diferentes sistemas. A complexidade da instalação pode melhorar a qualidade do efluente final. (AVELINO, 2012). Na Figura 2 é possível observar as diferentes classificações SACs para o tratamento de águas residuárias.

Figura 2. Classificação dos sistemas alagados construídos para o tratamento de águas residuárias.



Fonte: Avelino (2012).

Ainda, segundo Silva, Bernardes e Ramos (2015), os benefícios econômicos e financeiros dos sistemas alagados construídos tanto podem ser obtidos com a comercialização da biomassa vegetal e/ou dos grãos produzidos, quanto com a redução dos custos pela utilização de um meio suporte encontrado no próprio local, sem que haja a necessidade de compra e transporte desse material. Os recursos arrecadados podem ser empregados na administração e manutenção dos sistemas. Como benefícios ambientais, tem-se a não contaminação dos corpos d'água superficiais pelo lançamento de águas residuárias domésticas com concentrações elevadas de poluentes e pelo carreamento, por meio do escoamento superficial, de substâncias presentes no solo em razão da aplicação de fertilizantes químicos em áreas agrícolas e também pela redução da retirada de água dos rios para a irrigação de culturas; essas características conferem aos sistemas alagados construídos a auto sustentabilidade.

De acordo com Avelino (2012), apesar das vantagens que os SACs possuem comparados aos sistemas de tratamento convencionais, esse sistema pode apresentar comprometimento em sua eficiência no período do inverno em regiões temperadas, além de exigir áreas maiores para sua construção. Apesar dessas (possíveis) limitações, ainda são notadamente atrativos como, alternativas para o tratamento convencional de águas residuárias produzidas por pequenas e médias comunidades (OLIVEIRA et al., 2005).

3.3.3 Reator Solar

O reator solar é um tanque impermeabilizado desenvolvido por Sánchez-Román et al. (2007), onde as águas residuárias domésticas ficam expostas à incidência de radiação solar para inativação de microrganismos patogênicos. Segundo Queluz e Sánchez-Román (2014), a radiação solar, que tem um componente importante de radiação ultravioleta (UV), essa afeta as cadeias do ácido desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos, causando a perda da sua atividade biológica seguida da morte celular, pela incapacidade de se reproduzir. Na Figura 3 pode-se observar o sistema para desinfecção solar de águas residuárias domésticas, desenvolvido por Sánchez-Román.

Figura 3. Sistema para desinfecção solar de águas residuárias domésticas.

Fonte: Queluz e Sánchez-Román (2014).

Os 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 à 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, em 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).

A utilização de energia solar como proposta de desinfecção de águas residuária no semiárido brasileiro torna-se promissora uma vez que se encontra entre as latitudes 15º norte e 35º sul e recebe alto índice de radiação ultravioleta por ano, além das mais de três mil horas anuais de sol, ao mesmo tempo em que o efeito sinérgico (ação conjunta das radiações ultravioleta e infravermelha) dessas duas faixas de radiação eleva a eficiência da técnica de desinfecção solar de águas residuárias (LUZI, 2016).

Diante do exposto, entende-se que para o tratamento de água residuária sanitária existem diversos tipos de tecnologias, entretanto, o semiárido brasileiro demanda àquelas que sejam eficientes, de baixo custo de instalação e manutenção e que não

utilizem produtos químicos na remoção dos poluentes, conforme destacado nos trabalhos de Feitosa et al. (2011), Moura et al. (2011), Reinaldo et al. (2012), Batista et al. (2013) e Cavalcante (2017), que desenvolveram e monitoraram estações de tratamento e uso agrícola de água residuárias domésticas, no semiárido brasileiro com essas características.

Assim, se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de águas residuárias visando o aproveitamento agrícola e florestal, a fim de possibilitar a convivência com a escassez hídrica, a conservação dos recursos hídricos e, minimização dos impactos ambientais gerados pelo esgotamento sanitário inadequado, desde que seja atendida a legislação vigente para reúso da água.

No trabalho de Silva (2010), foi dimensionado um sistema de tratamento e aproveitamento agrícola de águas residuária da bovinocultura de leite para mitigar impactos ambientais causados pela implantação do free stall em um centro de bovinocultura experimental. E Nascimento (2010), também dimensionou sistemas de tratamento para mitigar impactos causados pelo esgoto doméstico gerado no alojamento e refeitório e pelo efluente oriundo da rampa de abastecimento dos pulverizadores de uma empresa agrícola.

Assim, analisando as tecnologias, existentes no semiárido, para tratamento e uso agrícola de água residuária sanitárias, verifica-se que o dimensionamento, a construção e o uso do sistema alagado construído à jusante do tanque séptico e à montante do reator solar, pode propiciar maior remoção de turbidez e de sólidos suspensos e com isso potencializar a inativação de microrganismos patogênicos (REINALDO et al., 2012; BATISTA et al., 2013).

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO DO PROJETO

O projeto do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária foi implantado ao lado do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da UFERSA em Mossoró/RN, localizado entre as coordenadas geográficas 5º12’12,90’’ S, 37º19’26,97’’ O, possuindo 20 m de altitude. Na Figura 4, está representada a imagem de satélite da área onde está instalada a estação ecológica de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.

Figura 4. Imagem da área experimental onde foi construída a estação ecológica de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária na UFERSA, Mossoró/RN.

Fonte: Adaptado do Google Earth (GOOGLE, 2018).

De acordo com a classificação climática de Köeppen, o clima de Mossoró é do grupo BSwh’, isto é, tropical semiárido muito quente e com estação chuvosa ocorrendo no verão-outono, apresentando temperatura média de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm, e umidade relativa do ar de 68,9 % (ALVARES et al., 2013).

Segundo Cavalcante (2017), no ano de 2015 a velocidade média dos ventos em Mossoró foi de foi de 4,14 m s^{-1}. E o solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999).

Essa área experimental da UFERSA foi selecionada por possuir espaço físico suficiente para a instalação do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária. O Laboratório de Construções Rurais e Ambiência possui uma rede coletora de toda água residuária gerada no prédio, bem como um tanque de equalização para a homogeneização das águas residuárias oriundas dos vasos sanitários e dos lavatórios de mãos dos banheiros masculino e feminino; das pias do Laboratório de Dinâmica de Interação Solo-Máquina, da Sala de Aula do prédio e do Laboratório de Ensaios de Materiais; e de um destilador de água instalado no Laboratório de Dinâmica de Interação Solo-Máquina. Estima-se que no Laboratório de Construções Rurais e Ambiência circulem em média 61 ocupantes temporários por dia, entre professores, alunos, servidores e terceirizados da UFERSA.

4.2 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO

O sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária, foi constituído por um tanque séptico, um sistema alagado construído, um reator solar, um reservatório e uma vala de infiltração. Tal sistema foi dimensionado para atender uma vazão máxima de 3,05 m^3 d^{-1}, gerada por 61 pessoas em condições de ocupação temporária em escola, como notado no ANEXO A, seguindo as recomendações técnicas da NBR 7.229 (ABNT, 1993) e da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

4.3 MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO

4.3.1 Tanque Séptico

Conforme a NBR 7.229, o tanque séptico pode ser uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão, que irá coletar e tratar o lodo e a gordura da água residuária sanitária. (ABNT, 1993)

As dimensões do tanque séptico foram determinadas com base na NBR 7.229, utilizando-se a Equação 1.

$$V_u = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot Lf)}{1000} \quad (1)$$

Em que:

Vu - Volume útil do tanque séptico, m^3;

1000 - Fator de segurança, L;

N - Número de contribuições, ocupantes;

C - Contribuição de despejo, L hab^{-1} d^{-1} (ANEXO A);

T - Tempo de detenção hidráulica, d (ANEXO B);

K - Taxa de acúmulo de lodo digerido, adimensional (ANEXO D); e,

Lf - Contribuição de lodo fresco, L hab^{-1} d^{-1} (ANEXO A).

Em seguida calculou-se o comprimento do tanque séptico empregando-se a Equação 2.

$$V_u = C_p \cdot L \cdot h \therefore C_p = \frac{V_u}{L \cdot h} \quad (2)$$

Em que:

V_u - Volume útil do tanque séptico, m^3;

C_p - Comprimento interno do tanque séptico, m;

L - Largura interna do tanque séptico, m; e,

h - Profundidade útil do tanque séptico, m (ANEXO C).

4.3.2 Sistema Alagado Construído

O sistema alagado construído foi dimensionado para operar com metade da vazão máxima (1,53 m^3 d^{-1}); uma taxa de carga orgânica de 570 kg ha^{-1} d^{-1} recomendada por Matos et al. (2010). Para sistemas alagados construídos cultivados por gramíneas, devido a maior remoção de sólidos; tem-se uma concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 225 mg L^{-1}.

No cálculo da área superficial do sistema alagado construído empregou-se a Equação 3, apresentada por Matos (2007). Deve-se ressaltar que a outra metade da vazão máxima, não tratada pelo sistema alagado construído, será lançada em vala de infiltração.

$$As = \frac{Q \cdot C}{Ta} \cdot 10 \quad (3)$$

Em que:

As - Área superficial do sistema alagado construído, em m^2;

Q - Vazão máxima do afluente, em $m^3\ d^{-1}$;

Ta - Taxa de carga orgânica para condições semiáridas, kg $ha^{-1}\ d^{-1}$; e,

C - Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio do afluente, mg L^{-1}.

4.3.3 Reator Solar

O reator solar foi dimensionado no formato de tronco de pirâmide e dimensões idênticas e a forma estrutural do reator foi adotada para garantir que as paredes não permitissem a formação de sombras conforme as especificações técnicas de Queluz e Sánchez-Román (2014).

4.3.4 Vala de Infiltração

O sistema de vala de filtração foi construído no próprio solo, onde pode ter suas paredes impermeáveis. Para o seu dimensionamento foi considerado uso da Equação 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

$$As = \frac{N \cdot C}{C_i} \quad (4)$$

Em que:

As - Área superficial do sumidouro, m^2;

N - Número de unidades de contribuição, habitante;

C - Contribuição de despejos, L $hab^{-1}\ d^{-1}$; e,

Ci - Coeficiente de infiltração, L $m^{-2}\ d^{-1}$.

4.3.5 Reservatório

O reservatório foi dimensionado na forma quadrada nas dimensões de 1,0 m de lado por 1,0 m de profundidade, para armazenar o efluente tratado pelo sistema alagado construído.

4.4 MEMORIAL DESCRITIVO

A construção de todo o projeto seguiu os detalhes construtivos apresentados nas plantas que constam no apêndice. O sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária, foi instalado em local apropriado, isento de riscos de inundações e distantes de qualquer tipo de corpo hídrico.

O terreno escolhido foi desentulhado e nivelado conforme as necessidades do projeto. As estruturas utilizadas no sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária foram construídas em locais onde a topografia possibilita o escoamento dos efluentes nas tubulações pela ação da gravidade.

4.4.1 Tanque Séptico

Primeiramente calculou-se o volume útil do tanque séptico, através da utilização do fator de segurança igual a 1000 L, o número de contribuições de 61 pessoas, a contribuição de despejo igual a 50 L hab^{-1} d^{-1}, o tempo de detenção hidráulica de 0,83 d, com a taxa de acúmulo de lodo digerido de 97 e a contribuição de lodo fresco, 0,2 L hab^{-1} d^{-1}, totalizando um volume útil do tanque séptico de 4,73 m^3, que pode ser visto na resolução da Equação 1.

$$V_u = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot Lf)}{1000} \therefore V_u = \frac{1000 + 61 \cdot (50 \cdot 0{,}83 + 97 \cdot 0{,}2)}{1000} \therefore V_u = 4{,}73\, m^3 \qquad (1)$$

Este possui duas câmaras em série e uma divisória, posicionada a 2/3 do comprimento do tanque, possuindo três aberturas na metade de sua profundidade. Cada uma dessas aberturas tem 0,10 m de largura e 0,20 m de altura. Cada câmara possui na superfície do tanque uma abertura externa para inspeção e coleta de amostras dos efluentes.

O tanque séptico foi construído com as dimensões internas de 2,60 m de comprimento, 1,30 m de largura e 1,40 m de profundidade, no formato retangular, utilizando alvenaria de tijolos, laje pré-moldada e revestimento com reboco impermeável, empregando-se sika rebocol e argamassa de cimento e areia 1:4, com 0,015 m de espessura.

Com uma profundidade de 1,40 m (ANEXO C, para o volume útil do tanque séptico de 4,73 m^3) e largura interna de 1,30 m, calculou-se o comprimento do tanque séptico empregando-se a Equação 2. Na Figura 5 tem-se a vista superior do tanque séptico.

$$V_u = C_p \cdot L \cdot h \therefore C_p = \frac{V_u}{L \cdot h} \therefore$$
$$C_p = \frac{4{,}73}{1{,}30 \cdot 1{,}40} \therefore C_p = 2{,}6\,m \quad (2)$$

Figura 5. Vista superior do tanque séptico.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2018).

4.4.2 Sistema Alagado Construído

Como o sistema alagado construído foi dimensionado para operar com metade da vazão máxima, com a valor de 1,53 m^3 d^{-1}, e a taxa de carga orgânica para condições semiáridas de 570 kg ha^{-1} d^{-1} com a concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio do efluente de 225 mg L^{-1}, obteve a área superficial do sistema alagado construído de 6,0 m^2, como pode ser visto na resolução da Equação 3.

$$As = \frac{Q \cdot C}{Ta} \cdot 10 \therefore As = \frac{1{,}53 \cdot 225}{570} \cdot 10 \therefore As = 6{,}0 m^2 \quad (3)$$

O sistema alagado construído foi composto por um leito com fluxo subsuperficial horizontal situado abaixo da superfície do solo, para exercer o tratamento secundário e terciário da água residuária sanitária. Além disso, foi construído em alvenaria nas dimensões internas de 1,50 m de largura, por 4,0 m de comprimento, por 0,50 m de profundidade e declividade de 0,5 % no piso.

O meio suporte utilizado foi brita gnaisse n° 1, como pode ser visto na Figura 6a, que possibilitará a formação de biofilme para o tratamento biológico da água residuária. A espécie vegetal cultivada no sistema alagado construído foi o Capim Elefante, (*Pennisetum purpureum*) por ser uma cultivar resistente a condição semiárida. (Figura 6b) plantado no espaçamento de 0,60 m entre fileiras e 0,60 m entre centro de colmos, seguindo as recomendações de Reinaldo et al. (2012) e Batista et al. (2013). Na Figura 7 tem-se a vista superior sistema alagado construído.

Figura 6. Brita gnaisse n° 1 (a) e espécie vegetal Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*) (b).

Fonte: (a) Construforma (b) EMBRAPA (2018).

Figura 7. Vista superior sistema alagado construído.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2018).

4.4.3 Reator Solar

O reator solar foi construído em formato de tronco cônico invertido e dimensões idênticas, isto é raio maior, raio menor de, respectivamente, 1,0 m, 0,25 m e 0,30 m de profundidade, pintado na cor preta para maior absorção térmica, conforme as recomendações de Queluz e Sanchéz-Román (2014), A forma estrutural do reator foi adotada para garantir que as paredes não permitissem a formação de sombras no efluente durante o maior tempo possível, resultando em inclinação 21,8º e possuindo diâmetro de 2,4 m; possibilitando a redução do nível populacional de bactérias e ovos de vermes. Na Figura 8, tem-se a vista superior do reator solar.

Figura 8. Vista superior reator solar.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2018).

4.4.4 Vala de Infiltração

Na vala de infiltração ocorrerá a disposição final da metade da vazão máxima (1,53 m^3 d^{-1}) não tratada pelo sistema alagado construído. Para o seu dimensionamento foi considerado o uso da Equação 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

Com o número de unidades de contribuição de 61 pessoas, uma contribuição de despejos de 25 L hab^{-1} d^{-1} e o coeficiente de infiltração de 130 L m^{-2} d^{-1}, este dispositivo foi construído com área superficial de 12,0 m², como pode ser visto na resolução da Equação 4. Possuindo também possuindo 8,0 m de comprimento, 1,50 m de largura e 0,50 m de profundidade, contendo internamente, uma tubulação em policloreto de polivinila (PVC) com diâmetro nominal de 100 mm, dotado de perfurações de diâmetro de 0,01 m. Para minimizar a obstrução destas perfurações realizou-se o envelopamento da tubulação de 100 mm com brita gnaisse n°1. Na Figura 9, tem-se a vista superior da vala de infiltração.

$$As = \frac{N \cdot C}{C_i} \therefore As = \frac{61 \cdot 25}{130} \therefore As = 12{,}0\, m^2 \quad (4)$$

Figura 9. Vista superior da vala de infiltração.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2018).

4.4.5 Reservatório

O reservatório foi construído em alvenaria e revestido internamente com material impermeabilizante, com a forma quadrada nas dimensões de 1,0 m de lado por 1,0 m de profundidade, para armazenar o efluente tratado pelo sistema alagado construído tanto para a coleta de amostra para análises e quanto para fins de irrigação nas áreas verdes próximas ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiência. Na Figura 10, tem-se a vista superior do reservatório e na Figura 11 a vista da área experimental onde se encontra o sistema ecológico de tratamento de água residuária sanitária.

Figura 10. Vista superior do reservatório.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2018).

Figura 11. Vista da área experimental onde se encontra o sistema ecológico de tratamento de água residuária sanitária.

Fonte: Arquivo da pesquisadora (2018).

O tanque séptico, o sistema alagado construído, o reator solar, a vala de infiltração e o reservatório serão interligados por tubulações em PVC com diâmetros nominais de 40 e 100 mm.

4.5 MATERIAIS E MÃO DE OBRA UTILIZADA

Na Tabela 2 está descrito a estimativa dos preços dos materiais e mão de obra utilizada no sistema ecológico de tratamento e uso agrícola e florestal de água residuária sanitária, gerada nas instalações do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da UFERSA, em Mossoró/RN.

Tabela 2. Material utilizado na construção no sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.

Material	**Unidade**	**Quantidade**	**Valor unitário (R$)**	**Valor total (R$)**
Cimento Portland, 50 kg	sc	30	21,00	630,00
Brita nº1 de gnaisse	m^3	7	150,00	1.050,00
Areia lavada	m^3	3	80,00	240,00
Areia comum	m^3	2	60,00	120,00
Trilho para laje de 1,25 m	und	12	15,00	180,00
Lajota 28 cm	und	130	2,00	260,00
Tijolo comum 8 furos	und	1200	0,50	600,00
Impermeabilizante	und	5	45,00	225,00
Tinta para piso, cor preta, 3,6 L	und	1	80,00	80,00
Tubo PVC, branco, 100 m	m	60	9,30	558,00
Tubo PVC, branco, 40 mm	m	30	3,30	99,00
Tê PVC, branco, 100 mm	und	4	9,00	36,00
Tê PVC, branco, 40 mm	und	4	1,60	6,40
Joelho 90º PVC, soldável, 100 mm	und	8	3,50	28,00
Joelho 90º PVC, soldável, 40 mm	und	4	1,00	4,00
Redução PVC, soldável, 100 x 50 mm	und	8	4,00	32,00
Bucha de redução PVC, soldável, 50 x 40 mm	und	8	1,25	10,00
Adesivo Plástico para PVC, 175 g	und	2	14,00	28,00
Subtotal				**4.186,40**

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa (2018).

Tabela 3. Mão de obra utilizada na construção do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.

Serviço de terceiros	**Unidade**	**Quantidade**	**Valor unitário (R$)**	**Valor total (R$)**
Serviço de escavação (máquina)	h	60	25,00	1.500,00
Serviço de construção da estação	und	1	5.000,00	5.000,00
Subtotal				**6.500,00**
Total geral				**10.685,40**

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa (2018).

Verifica-se, na tabela 2 e 3, que o projeto completo foi orçado em **R$ 10.685,40**, sendo **R$ 4.186,40**, do recurso para o material de construção, e **R$ 6.500,00** para serviço de terceiros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho foi possível atender as seguintes necessidades da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA):

- Com o levantamento de informações realizado junto as Normas Técnicas e no Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da UFERSA em Mossoró/RN foi possível estimar que nesta instalação aproximadamente 61 pessoas gerem cerca de 3,05 $m^3\ d^{-1}$ de água residuária sanitária tratada.
- Foi possível dimensionar um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola para água residuária sanitária gerada nas instalações do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da UFERSA em Mossoró/RN.
- Foi confeccionado memoriais de cálculos e descritivos, orçamento e desenhos técnicos do sistema ecológico de tratamento de água residuária sanitária.
- Foi desenvolvido um sistema de tratamento ecológico de água residuária sanitária constituído de um tanque séptico com duas câmaras, um sistema alagado construído tendo como planta extratora o capim elefante e um reator solar, que gere um efluente que possa atender aos padrões estabelecidos pela legislação vigente para fins de reúso agrícola e florestal do semiárido potiguar.
- Foi gerado um produto tecnológico para o semiárido potiguar que vem a potencializar a convivência com a escassez hídrica e minimize a degradação ambiental.
- Com este sistema será possível realizar pesquisas voltadas ao reúso da água para fins agrícolas e florestais, bem como realizar estudos sobre o desempenho do tanque séptico, sistema alagado construído e reator solar na remoção de atributos físico-químicos e microbiológicos da água residuária sanitária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. de M., SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, W. W. A. et al. Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubado com nitrogênio e fósforo. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 4, n. 1, p. 41-46, 2009.

AVELINO, M. C. Construção de um sistema de alagados construídos e o comportamento dos parâmetros físico-químicos e biológicos da fase de maturação dos leitos de fluxo vertical. 109 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru/SP, 2012.

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, 60p.

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

BATISTA, R. O.; REINALDO, G. P. B.; FREIRE SEGUNDO, J. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; SILVA, P. C. M.; SANTOS, D. B. Sistema ecológico para tratamento de esgoto primário em assentamentos rurais do semiárido brasileiro. Revista Agrarian, v. 6, n. 22, p. 438-447, 2013.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/Bazzarella_BB_2005.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2017.

BRASIL. CONAMA, 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 357/2005. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 25 jan. 2018.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (Thypha sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 3, p. 266-272, 2007.

CAVALCANTE, F. L. Desinfecção solar de águas cinza para aproveitamento agrícola no semiárido-RN. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2017.

CEARÁ. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2002. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 07 fev. 2018.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. Revista Ambiente & Água, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013.

CONSTRUFORMA. Disponível em: http://www.construformamcr.com.br/detalhes/3-pedra_brita.html> Acesso em: 04 abr. 2018.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M; MONTEGGIA, L. O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABEAS, 2006, cap. 3, p. 63 - 110. (Projeto PROSAB).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de janeiro, RJ) Sistema brasileiro de classificação de solos – Brasília: EMBRAPA. Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA. Solos, 1999.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17002039/nova-cultivar-de-capim-elefante-apresenta-produtividade-30-maior. Acesso em: 04 abr. 2018.

FEITOSA, A. P. Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro. 94 f. Tese (Doutorado) – Curso de Doutorado em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2016.

FEITOSA, A. P.; LOPES, H. S. S.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S.; MOURA, F. N. Avaliação de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. Engenharia Ambiental, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.

FERNANDES, V. M. C.; FIORI, S.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewFile/3676/2042>. Acesso em: 13 dez. 2017.

GOOGLE. GOOGLE EARTH. Version 7.3.0.3832. 2017. Editora: Google Inc. Mossoró/RN. Disponível em: <https:// http://www.baixaki.com.br/download/google-earth.htm>. Acesso em: 14 Fev. 2018.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. Bahia Analise & Dados, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

LUZI, S.; TOBLER, M.; SUTER, F.; MEIERHOFER, R. SODIS manual: guidance on solar water disinfection. Dübendorf: Eawag, 2016. 56p.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; BORGES, A. C.; MATOS, M. P. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 15, p. 83-92, 2010.

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

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, v. 8, n. 1, p. 264-276, 2011.

NASCIMENTO, A. T. Elaboração de projeto para tratamento e aproveitamento agrícola de efluentes em área rural empresarial. 45f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró/RN, 2010.

OLIVEIRA, E. L; TALAMONI, J. L. B; ENOKIBARA, M; FILHO, G. S. C; NETO, L. C. Alagados Construídos no tratamento de águas residuárias do Jardim Botânico Municipal de Bauru/SP. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

QUELUZ, J. G. T.; NICOLETE, D. A. P.; ALVES, T. R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Estimativa do tempo de exposição à radiação solar para desinfecção de águas residuárias domésticas. Scientia Plena, v. 11, n. 5, p. 1-6, 2015.

QUELUZ, J. G. T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. Water Utility Journal, v. 7, n. 1, p. 35-44, 2014.

REBOUÇAS, J. R. L. DIAS, N. S. GONZAGA, M. I. S. GHEYI, H. R. SOUSA, O. N. Crescimento do feijão caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. Revista Caatinga, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.

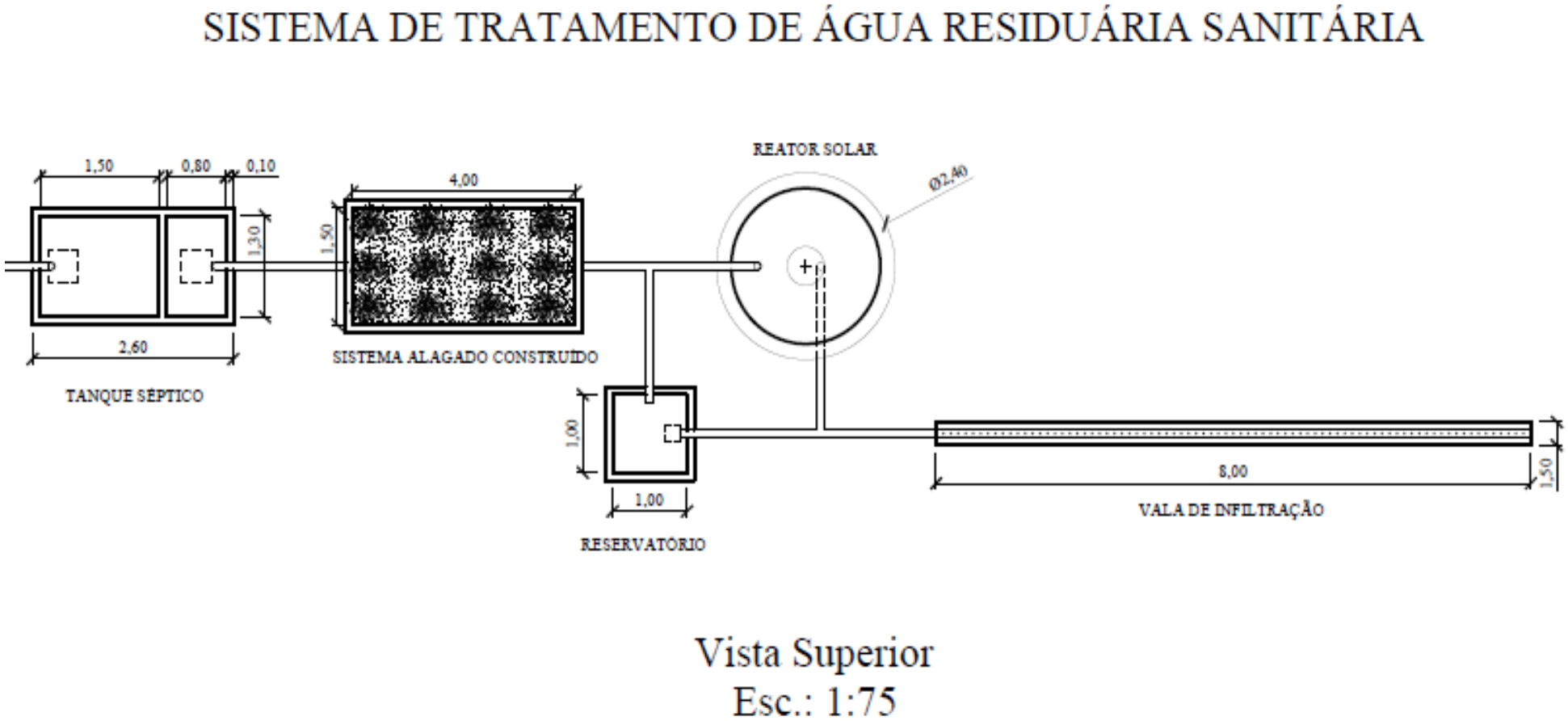
REINALDO, G. P. B.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, D. B. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. Revista Ambiente & Água, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.

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, v. 50, n.1, p. 65-71, 2007.

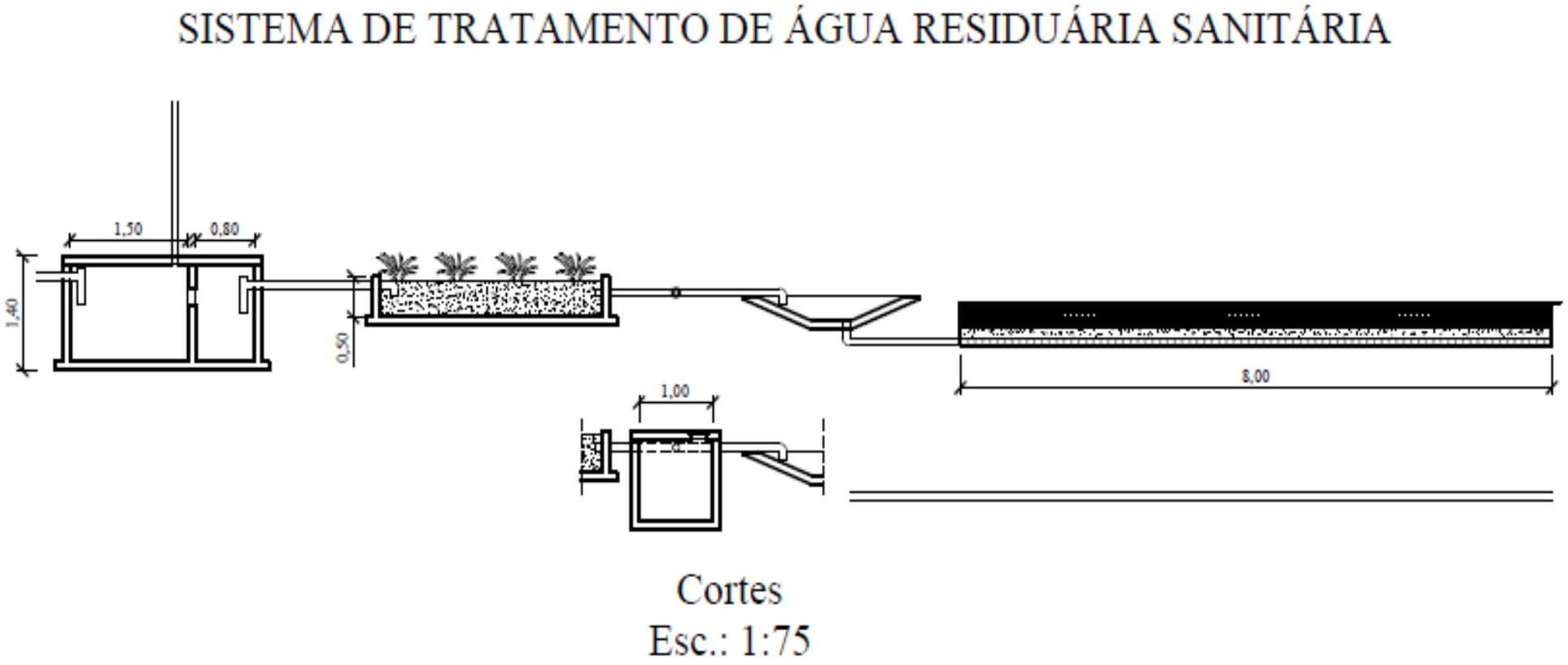
SILVA, S. C.; BERNARDES, R. S.; RAMOS, M. L. G. Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 4, p. 533-542, 2015.

SILVA, L. O. Dimensionamento de sistema para tratamento e aproveitamento agrícola de água residuária da bovinocultura de leite no campus da UFERSA, Mossoró-RN. 49f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró/RN, 2010.

APÊNDICE A – Vistas superiores do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.

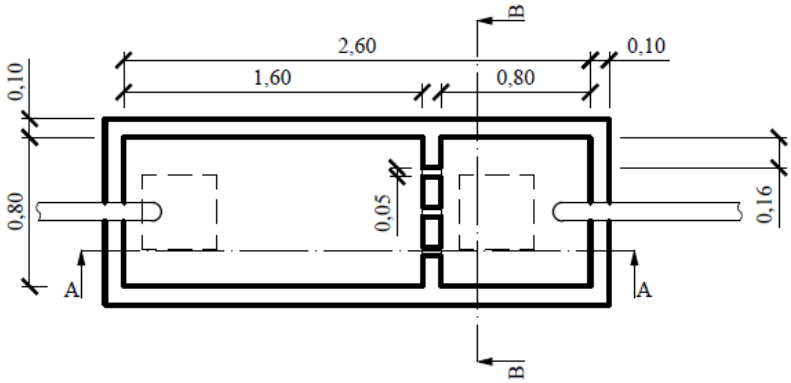


APÊNDICE B – Cortes do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.

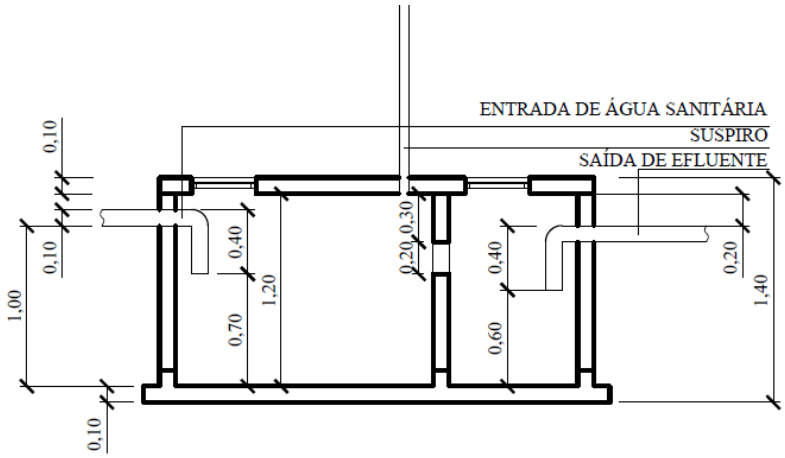


APÊNDICE C – Vista superior e corte do tanque séptico.

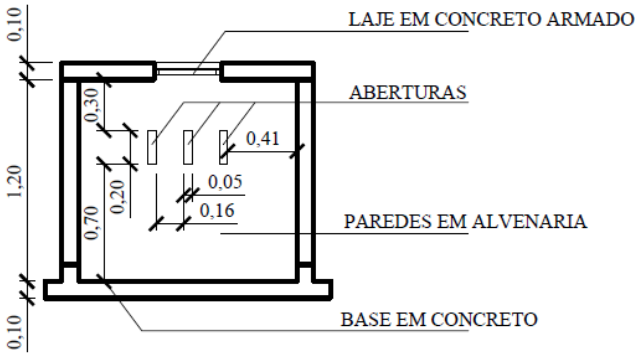
TANQUE SÉPTICO



Vista Superior
Esc.: 1:40

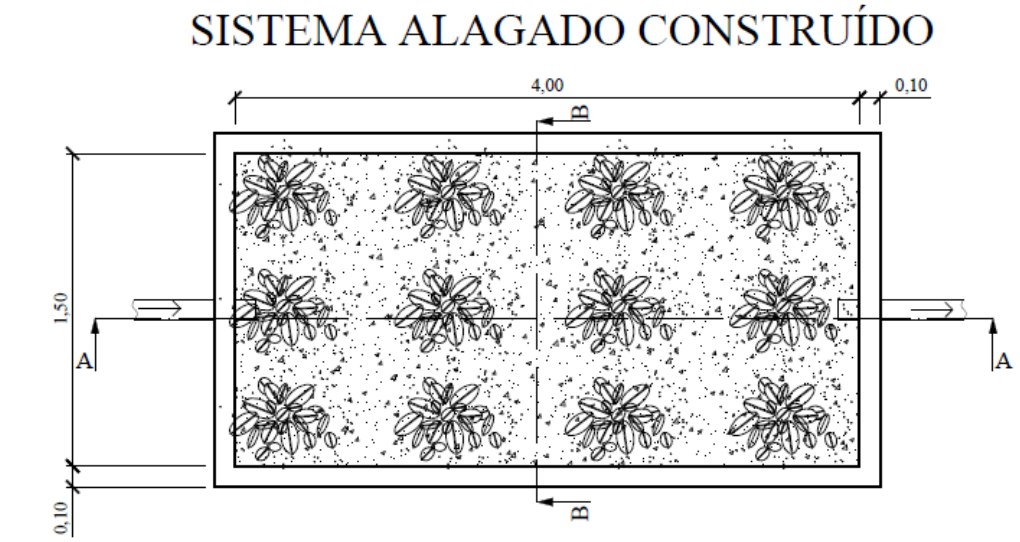


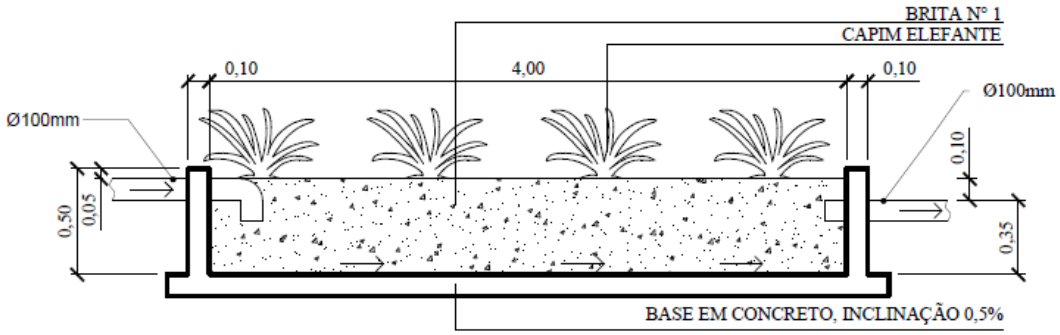
Corte AA
Esc.: 1:40

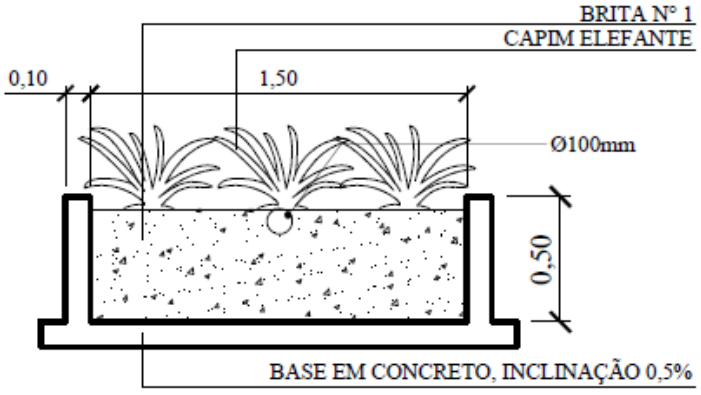


Corte BB
Esc.: 1:40

APÊNDICE D – Vista superior e corte do sistema alagado construído.

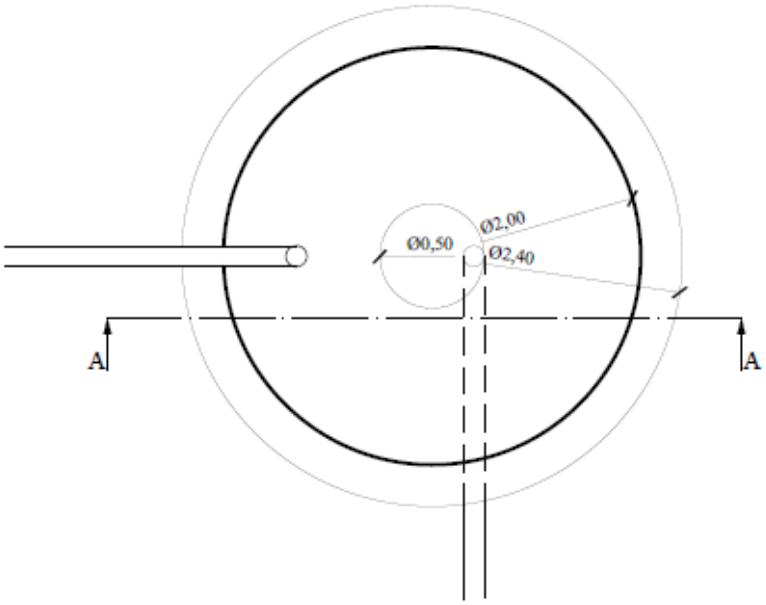




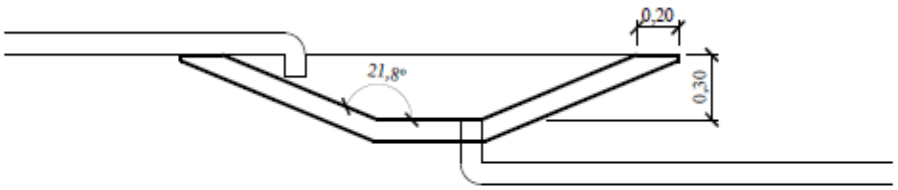


APÊNDICE E – Vista superior e corte do reator solar.

REATOR SOLAR



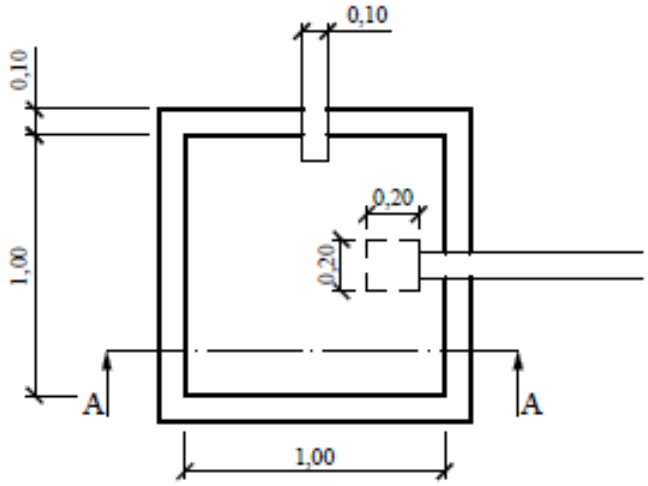
Vista Superior
Esc.: 1:30



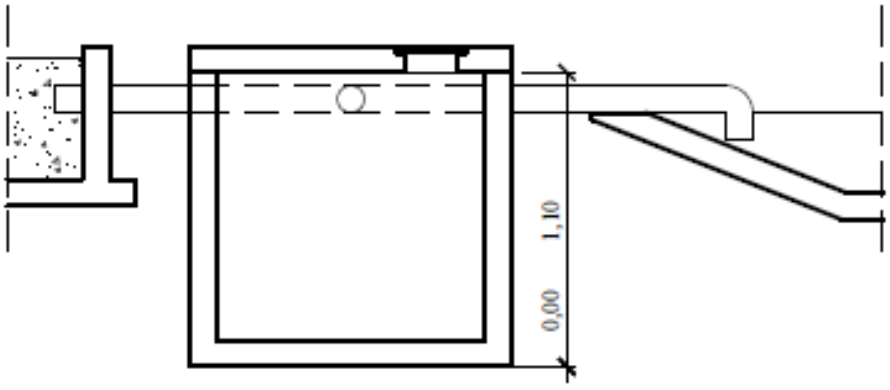
Corte AA
Esc.: 1:30

APÊNDICE F – Vista superior e corte do reservatório.

RESERVATÓRIO



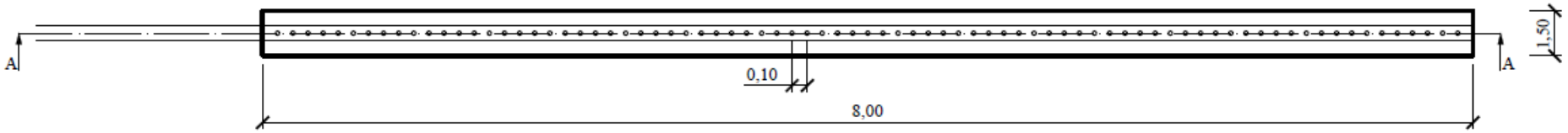
Vista Superior
Esc.: 1:30



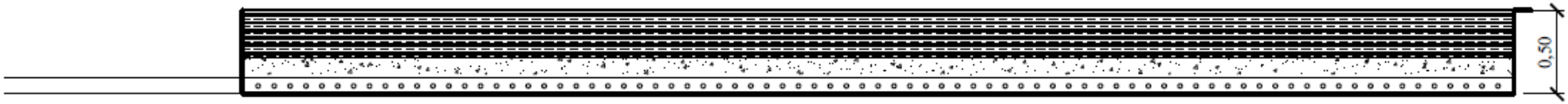
Corte AA
Esc.: 1:30

APÊNDICE G – Vista superior e corte da vala de infiltração.

VALA DE INFILTRAÇÃO



Vista Superior
Esc.: 1:40



Corte AA
Esc.: 1:40

ANEXO A – 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: Adaptado pela pesquisadora (NBR 7.229, ABNT, 1993).

ANEXO B – 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: Adaptado pela pesquisadora (NBR 7.229, ABNT, 1993).

ANEXO C – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m^3)	**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: Adaptado pela pesquisadora (NBR 7.229, ABNT, 1993).

ANEXO D – 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**		
	$t \leq 10$	**$10 \leq t \leq 20$**	**$t > 20$**
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: Adaptado pela pesquisadora (NBR 7229, ABNT, 1993).