



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS  
MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS**



**ANÁLISE ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL DE SISTEMAS  
DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA  
REÚSO NA AGRICULTURA.**

Saionara Alexandre da Silva

**Campina Grande  
Fevereiro de 2015**

**ANÁLISE ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL DE SISTEMAS  
DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA  
REÚSO NA AGRICULTURA.**

**SAIONARA ALEXANDRE DA SILVA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação  
em Recursos Naturais da Universidade Federal de  
Campina Grande, em cumprimento às exigências  
para obtenção do grau de mestre em Recursos  
Naturais.

**Área de Concentração:** Processos Ambientais.

**Linha de Pesquisa:** Qualidade, Tratamento e Uso de Resíduos Ambientais.

**ORIENTADORA**

**PROFa. DR<sup>a</sup>. LÚCIA SANTANA DE FREITAS**

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA – BRASIL  
FEVEREIRO DE 2015**

**SAIONARA ALEXANDRE DA SILVA**

**ANÁLISE ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL DE SISTEMAS  
DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA  
REÚSO NA AGRICULTURA.**

**APROVADA EM:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

**PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. LÚCIA SANTANA DE FREITAS**  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

**PROF. DR. JOSÉ TAVARES DE SOUSA**  
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT  
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

**PROF. DR. JOSÉ DANTAS NETO**  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

## DEDICATÓRIA

Dedico este árduo trabalho em primeiro lugar ao meu Deus, o Senhor Jesus Cristo, pai fiel, amoroso e justo.

Ao meu marido José lima de Oliveira Junior, companheiro, amigo, amado, e exemplo de superação e perseverança.

À minha amada mãe, Hilda Maria da Silva, a mulher mais linda que já conheci por dentro e por fora, à qual devo a mim mesmo, exemplo de honestidade e coragem que guardarei dentro do meu coração até o fim da minha vida.

Ao meu Pai, Edmilson Alexandre da Silva (*in memorian*), pois com a força do seu trabalho me criou e me ajudou como pôde para que eu pudesse me dedicar só aos estudos até certo tempo.

Aos meus irmãos Leonardo, Sanases, Sônia Mara e Sabrina, pelo apoio e motivação constante, e por serem eles alegria pra minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus criador dos céus e da terra, por me dar esta oportunidade inimaginável, por me dar forças e meios pra continuar e terminar meu trabalho; sem Ele nada disso seria possível.

Ao meu amado marido José Lima de Oliveira Júnior, pelo apoio e incentivo constante, por me entender e ter paciência diante do tempo dedicado no término desta etapa: não tenho palavras para te agradecer.

À professora Lúcia Santana de Freitas, por me orientar pra que eu pudesse fazer o melhor possível, pelo auxílio, apoio e confiança.

À minha mãe Hilda Maria da Silva, por sempre me incentivar a estudar, orar por mim, e de certa forma ser o motivo do meu desejo de progredir.

Ao meu pai Edmilson Alexandre da Silva (*in memoriam*), pelos ensinamentos sobre a vida.

Aos meus irmãos: Leonardo, Sanases, Sônia Mara e Sabrina, pela amizade, carinho compreensão, e por me dar forças pra continuar sempre.

À minha irmã em Cristo Socorro, que de muitas maneiras me ajudou, confortou nos momentos difíceis, sendo um ouvido atento quando precisei.

Aos meus amados irmãos em Cristo da igreja Batista Regular no Monte Santo, Taperoá e Aroeiras.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, em especial à Secretária Cleide dos Santos por toda ajuda dispensada.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES do Ministério da Educação, pela bolsa de estudo.

“Pois qual de vós, querendo edificar uma torre, não se assenta primeiro a fazer as contas dos gastos, para ver se tem com que a acabar? Para que não aconteça que, depois de haver postos os alicerces e não a podendo acabar, todos os que a virem comecem a escarnecer dele, dizendo: este homem começou a edificar e não pôde acabar.”

Lc. 14: 28-30

## SUMÁRIO

<i>LISTA DE TABELAS</i> .....	<i>ix</i>
<i>LISTA DE QUADROS</i> .....	<i>xi</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	<i>xii</i>
<i>LISTA DE APÊNDICES</i> .....	<i>xiii</i>
<i>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</i> .....	<i>xiv</i>
<i>LISTA DE EQUAÇÕES</i> .....	<i>xvi</i>
<i>RESUMO</i> .....	<i>17</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>18</i>
<i>1 - INTRODUÇÃO</i> .....	<i>19</i>
<i>2 – OBJETIVOS</i> .....	<i>22</i>
<i>2.1 - Objetivo Geral</i> .....	<i>22</i>
<i>2.2 - Objetivos Específicos</i> .....	<i>22</i>
<i>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i> .....	<i>23</i>
<i>3.1 – Saneamento básico e saúde</i> .....	<i>23</i>
<i>3.2 - Sistemas de tratamento de esgoto descentralizados</i> .....	<i>25</i>
<i>3.2.1 - Eficiência de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados</i> .....	<i>29</i>
<i>3.3 - Reúso de águas residuárias tratadas</i> .....	<i>31</i>
<i>3.4 - Estimativa dos Custos de sistemas de tratamento de esgoto</i> .....	<i>33</i>
<i>4 – MATERIAL E MÉTODOS</i> . .....	<i>36</i>
<i>4.1 – Descrição do cenário de aplicação</i> . .....	<i>36</i>
<i>4.2 - Sistemas de tratamento de esgoto</i> .....	<i>39</i>
<i>4.2.1 – Descrição, configuração operacional e eficiências dos sistemas tratamento</i> ..	<i>39</i>
<i>4.3 - Projeto das unidades de sistemas de tratamento de esgoto e reúso</i> . .....	<i>42</i>
<i>4.4 - Estimativa de custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas de tratamento e reúso</i> .....	<i>43</i>
<i>4.5 – Análise das alternativas de sistema de tratamento</i> .....	<i>45</i>
<i>4.5.1 – A análise econômica</i> . .....	<i>45</i>
<i>4.5.2 – A análise Ambiental</i> .....	<i>46</i>
<i>4.5.3 – A análise social</i> .....	<i>47</i>
<i>5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</i> .....	<i>49</i>
<i>5.1 - Estimativa de custos dos sistemas de tratamento e reúso</i> . .....	<i>49</i>
<i>5.1.1 – Custos de implantação</i> .....	<i>49</i>
<i>5.1.2 - Custos de operação e manutenção</i> .....	<i>58</i>
<i>5.2 - Análise econômica dos sistemas</i> .....	<i>63</i>
<i>5.3 - A análise ambiental dos sistemas</i> .....	<i>65</i>
<i>5.4 - A análise social dos sistemas</i> .....	<i>68</i>

<i>5.5 - A avaliação econômica, ambiental e social dos sistemas de tratamento.....</i>	<i>72</i>
<i>6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</i>	<i>76</i>
<i>7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</i>	<i>78</i>
<i>8 - APÊNDICES.....</i>	<i>85</i>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1:</b> Nível de atendimento com águas e esgotos no Brasil segundo a região geográfica	24
<b>Tabela 4.1:</b> Eficiências de remoção dos sistemas de tratamento	42
<b>Tabela 4.2:</b> Classificação das alternativas conforme critério econômico	45
<b>Tabela 4.3:</b> Classificação das alternativas conforme critério ambiental	46
<b>Tabela 4.4:</b> Comparativo dos parâmetros de qualidade sanitária com padrões e recomendações estabelecidos por USEPA e WHO	48
<b>Tabela 5.1:</b> Resumo do orçamento sintético de custo de implantação do sistema ECO 1	49
<b>Tabela 5.2:</b> Resumo do orçamento sintético de custo de implantação do sistema tanque séptico	50
<b>Tabela 5.3:</b> Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema UASB C seguido de FAN	51
<b>Tabela 5.4:</b> Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema UASB C seguido de FaFint	53
<b>Tabela 5.5:</b> Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema UASB Y	53
<b>Tabela 5.6:</b> Comparativo de custos de implantação entre as abordagens uni e multifamiliar	55
<b>Tabela 5.7:</b> Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de reúso unifamiliar	57
<b>Tabela 5.8:</b> Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema ECO 1	58
<b>Tabela 5.9:</b> Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema tanque séptico	59
<b>Tabela 5.10:</b> Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB Y	59
<b>Tabela 5.11:</b> Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB C + FaFint	60
<b>Tabela 5.12:</b> Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB C + FAN	61

<b>Tabela 5.13:</b> Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema de reúso	63
<b>Tabela 5.14:</b> Classificação das alternativas conforme critério econômico	64
<b>Tabela 5.15:</b> Custo total dos sistemas de tratamento somados ao de reúso	65
<b>Tabela 5.16:</b> Classificação das alternativas conforme critério ambiental	67
<b>Tabela 5.17:</b> Comparativo dos parâmetros de qualidade sanitária com padrões e recomendações estabelecidos por USEPA e WHO	71

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 3.1:</b> Classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos conforme o tipo de reúso	30
<b>Quadro 4.1:</b> Fontes secundárias de dados da pesquisa	36
<b>Quadro 4.2:</b> Caracterização socioeconômica da população	38
<b>Quadro 4.3:</b> Parâmetros para o projeto de reúso	43
<b>Quadro 4.4:</b> Composição das parcelas de custos dos sistemas de tratamento e reúso	44

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 4.1:</b>	Localização Geográfica georeferenciada do Assentamento Santa Cruz	37
<b>Figura 4.2:</b>	Esquema construtivo do sistema Tanque Séptico	39
<b>Figura 4.3:</b>	Esquema construtivo do sistema reator UASB	40
<b>Figura 4.4:</b>	Esquema construtivo do sistema reator UASB Convencional seguido de Filtro Anaeróbio	40
<b>Figura 4.5:</b>	Esquema construtivo do sistema reator UASB Convencional seguido de Filtro Aeróbio	41
<b>Figura 4.6:</b>	Esquema construtivo da estação compacta	42
<b>Figura 5.1:</b>	Classificação quanto ao custo do item principal na construção dos reatores	54
<b>Figura 5.2:</b>	Relação entre o aumento do numero de casas com o aumento dos custos de implantação	56
<b>Figura 5.3:</b>	Esquema demonstrativo das avaliações para seleção de alternativa	73

**LISTA DE APÊNDICES**

<b>Apêndice A:</b> Projetos dos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e do sistema de reúso	85
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTT	Coliformes termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ECO 1	Estação Compacta 1
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos
FAN	Filtro Anaeróbio
FaFint	Filtro Aeróbio de Fluxo intermitente
ha	Hectare
hab.	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Km	Quilômetro
L/dia	Litros por dia
L.hab <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>	Litros por habitante por dia
m <sup>3</sup> /ano	Metros cúbicos por ano
m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Metros cúbicos por metro quadrado e por dia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OH	Ovos de Helminthos
PB	Paraíba
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
R\$	Reais (Moeda corrente brasileira)
R\$.m <sup>-3</sup>	Reais por metro cúbico
SNIS	Sistema Nacional de Informação de Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
TS	Tanque Séptico
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

UASB C	Reator UASB Convencional
UASB Y	Reator UASB com separador de fases tipo braço ‘Y’
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VP	Valor Presente
WHO	World Health Organization

**LISTA DE EQUAÇÕES**

<b>Eq. 4.1:</b>	Cálculo do Valor Presente (VP)	44
<b>Eq. 4.2:</b>	Cálculo do custo total de cada unidade de tratamento	45
<b>Eq. 4.3:</b>	Cálculo do custo por metro cúbico dos sistemas	46

## ANÁLISE ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA REÚSO NA AGRICULTURA.

### RESUMO

Este trabalho analisou sistemas unifamiliares descentralizados de tratamento de esgoto em termos do custo mínimo e da qualidade físico-química e microbiológica efluente, para utilização na cultura da palma forrageira (*Opuntia Ficus indica*). Objetivando indicar uma alternativa de menor custo total, portanto mais acessível economicamente, associada a uma boa eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e organismos indicadores, visando à conservação do solo, a redução dos efeitos de colmatção da canalização do sistema de reúso, além da minimização dos riscos à saúde do trabalhador rural. A pesquisa realizou-se no período de janeiro a dezembro de 2014, e utilizou como cenário de aplicação o assentamento Santa Cruz em Campina Grande-PB. Para a avaliação econômica de custo mínimo, estimaram-se os custos de implantação, operação e manutenção de cinco unidades de sistema de tratamento descentralizado de esgotos e um sistema de reúso unifamiliar. Estes custos somados geraram os custos totais, trazidos a valor presente para um horizonte de projeto de 20 anos. Na avaliação ambiental compararam-se os dados de eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos dos sistemas, com escolha da alternativa mediante melhor desempenho na remoção destes constituintes. Na análise social, verificou-se qual dos sistemas produziu efluentes com menores níveis de riscos de contaminação através do desempenho na remoção dos parâmetros indicativos de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos, baseado nas diretrizes e recomendações estabelecidas para reúso na agricultura da USEPA, e da Organização Mundial da Saúde. Na seleção da melhor alternativa de tratamento consideraram-se as três dimensões avaliadas, identificando qual sistema obteve a melhor classificação quanto aos critérios de menor custo, e melhor eficiência. Na avaliação econômica, o reator UASB Y, obteve a melhor classificação (R\$ 4.839,64), com diferença em relação aos demais sistemas de 33,90% em relação ao TS, 49,01% do ECO1, 59,62% do UASB C+FAN e 63,92% do UASB C + FaFint, tornando-o, a melhor opção em termos de custos totais. O custo total estimado do sistema de reúso foi de R\$ 59.859,38. Para o critério ambiental, o sistema compacto ECO 1 se mostrou como a melhor alternativa das opções avaliadas, alcançando remoções de 85% de DQO, 96% de SST e 95% de SSV. Na avaliação social, o sistema compacto anaeróbio-aeróbio ECO1, apresentou a melhor eficiência de remoção de coliformes termotolerantes em termos de unidades log, removendo 1,72 unidades log, enquanto para o parâmetro ovos de helmintos os sistemas ECO1, UASB C+FaFint, e UASB C+FAN, atenderam a recomendação de  $OH \leq 1 \text{ ovo/L}^{-1}$ , com resultado de 0, 0 e 1  $\text{ovo/L}^{-1}$  respectivamente, demonstrando eficiência expressiva na remoção do patógeno. Conclui-se que o sistema ECO 1 mostrou-se como a melhor alternativa a ser escolhida, mesmo não sendo o sistema de menor custo, porém destacando-se nas avaliações ambiental e social, pela obtenção do primeiro lugar nestas classificações. A utilização de sistemas descentralizados mostra-se como uma opção de boa eficiência e baixo custo com potencial para o reúso das águas residuárias tratadas na agricultura, características essenciais no interesse da universalização do saneamento em áreas periurbanas e rurais.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto, Custos, Eficiência de remoção, Comunidades periurbanas e rurais.

## **ECONOMICAL, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL ANALYSIS OF DECENTRALIZED WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS PRIOR TO AGRICULTURAL REUSE**

### **ABSTRACT**

This work investigated household decentralized wastewater systems related to minimal cost, and effluent quality for physicochemical and microbiologic parameters prior to reuse in cultivation of Palma forage aiming to propose an alternative of minimal total cost, thence economically feasible, linked to an appropriate removal efficiency of organic matter, suspended solids and indicator organisms for soil conservation, piping clogging effect minimization of reuse system, in addition to reducing workers risks of exposure in agricultural irrigation practices. This research was accomplished from January to December, 2014, and applied as a scenario the reality of Santa Cruz settlement in Campina Grande-PB-Brazil. For economic assessment of minimal cost, it was estimated the costs for implantation, operation and maintenance of five household onsite decentralized wastewater systems, and one household wastewater reuse system. These costs added generated the total costs, brought to present value in a project timeline of twenty years. Related to environmental assessment, removal efficiency data of organic matter and solids was compared among treatment systems, selecting the most appropriate alternative in terms of pollutants removal performance. Finally, for social analysis, it was verified which system has produced the lowest risk contamination level for workers and consumers, in terms of removal of microbiological parameters like thermo tolerant coliforms and helminthes eggs, based on guidelines for agricultural reuse from the United States environmental protection agency and World Health Organization. The most appropriate treatment alternative selection has considered that three evaluated dimensions prior to identification of the prime system in terms of cost and removal efficiency. In the economic assessment, UASB Y reactor has achieved the best position (R\$ 4.839,64), with respective differences regarding other investigated systems of: 33,90% (TS), 49,01% (ECO 1), 59,62% (UASBC + FAN) and 63,92% (UASBC + FaFint), making it the better choice in terms of total costs. The estimated total cost for household reuse system was R\$ 59.859,38. Related to environmental criteria, the compact reactor ECO 1 has shown the better choice, reaching removal efficiencies in terms of DQO, SST and SSV, respectively of 85%, 96% and 95%, while the anaerobic-aerobic association of Conventional UASB and Intermittent Sand Filter has gotten the second better option in terms of removal efficiencies of DQO, SST and SSV, with respective amplitude of one, six and four percentage points when compared to ECO 1 system. Regarding to social assessment the ECO 1 anaerobic-aerobic compact system offered the better coliforms removal efficiency, reaching 1.72 log removals while concerning helminthes eggs removal systems ECO 1, UASB C+FaFint, and UASB C+FAN, has attained the WHO recommendation of  $\leq 1$  ovo/L<sup>-1</sup>, with respective results of 0, 0 and 1 ovo/L<sup>-1</sup> showing expressive removing efficiency. Considering the three dimensions assessment, the ECO 1 system has found to be the better choice, although it has not achieved the lowest cost but highlighting under environmental and social assessment, both ordering in number one position. The utilization of decentralized treatment systems has shown to be of low cost and good appropriate efficiency option with potential for agricultural reuse, which characteristics are crucial if universalization of sanitation in rural and peri-urban areas is to be pursued.

**Keywords:** Wastewater Treatment, Total costs, removal efficiency, peri-urban communities, rural communities.

## 1 - INTRODUÇÃO

A urbanização desordenada e a crescente industrialização trouxeram consigo variados tipos de impactos com conseqüente degradação ambiental. Dentre estes se destaca o aumento do consumo de água associado a um grande desperdício gerando, como subproduto, as águas residuárias as quais têm poluído mananciais, e limitado seus usos múltiplos, causando conflitos ambientais e sociais, constituindo-se em um problema para toda a sociedade.

A destinação incorreta das águas residuárias tem como conseqüências: a proliferação de macro vetores e espécies endêmicas, maus odores, contaminação da água e do solo, alterações da paisagem, desvalorização de propriedades, entre outras (JORDÃO e PESSOA, 2005; Von SPERLING, 2005), demonstrando que a falta de esgotamento sanitário não só é um caso de saúde pública, mas também um contribuinte para o subdesenvolvimento humano nos aspectos social, ambiental e econômico.

Os maiores déficits de serviços de esgotamento sanitário podem ser observados nas áreas rurais, nas pequenas localidades, na periferia das grandes cidades, e nos bairros com população de baixa renda, sendo a distribuição do atendimento o sinal característico da iniquidade social, pela concentração nítida dos investimentos nas regiões mais desenvolvidas (BRASIL, 2014a; GALVÃO JR., 2009).

No Brasil a gestão centralizada de tratamento de esgotos adotada no Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), de certa forma dificultou a expansão na implantação de sistemas de esgotamento sanitário em locais de baixa densidade demográfica em conseqüência da falta de acesso a financiamentos (SOARES *et al.*, 2003). Essa realidade é confirmada por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde as localidades com menor proporção de municípios atendidos por coleta e tratamento de esgoto, são aquelas com baixa densidade demográfica (IBGE, 2010).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) publica anualmente um documento através do ministério das cidades, informando a sociedade acerca do cenário atual das ações de saneamento no Brasil, e quais são os números de atendimento fornecidos pelas concessionárias de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

De acordo com dados do SNIS, os índices nacionais de atendimentos rural e urbano em 2012 foram de 38,7% para tratamento de esgotos gerados, demonstrando o quanto o Brasil esta longe da universalização. Estes dados demonstram ainda, os investimentos em

saneamento bem maiores nas regiões Sul e Sudeste, com parcela menor nas regiões Norte e Nordeste apontado um concentração nas regiões mais desenvolvidas, e relegando ao segundo plano as demais regiões (BRASIL, 2014). Infere-se, portanto, a melhor alocação dos investimentos como um caminho para se garantir uma maior difusão do atendimento.

A pesquisa parte da seguinte premissa: para que as populações de áreas com baixa densidade demográfica tenham acesso aos serviços de esgotamento sanitário, é necessário buscar alternativas tecnológicas de baixo custo para o tratamento de esgotos e de boa eficiência na remoção de contaminantes, tendo em vista a adoção de políticas públicas de saneamento capazes de garantir uma melhor aplicação de recursos em cada contexto, objetivando a redução da disparidade no atendimento.

Nesse contexto o uso de sistemas de tratamento centralizado mostra-se inviável para pequenas comunidades, por serem sistemas de alto custo de implantação devidos principalmente à alta demanda de construção de vias de transporte de efluente, e de operação (LI, 2010).

Em alguns países a universalização do saneamento, especificamente o esgotamento sanitário, aconteceu por meio da descentralização do serviço relativo à coleta e tratamento. O que poderia ser considerada uma medida paliativa em muitos casos, em outros, como na zona rural, seria uma saída de menor custo, viabilizando o investimento (MARA *et al.*, 2007).

Para que um sistema de tratamento seja considerado ambientalmente sustentável, ele deve assegurar a proteção da qualidade ambiental, e a conservação dos recursos naturais, ambas às características diretamente ligadas a uma boa eficiência de remoção de poluentes, e reciclagem de nutrientes através do reúso (MASSOUD *et al.*, 2009).

A ideia do sistema descentralizado pressupõe o tratamento e a disposição do efluente final realizados no local onde foi implantado. Uma das vias de destinação final do efluente amplamente defendida é o reúso, principalmente nas regiões onde a escassez hídrica é um grande problema para a população, como é o caso do semiárido nordestino (BARROSO e WOLFF, 2011; SANTOS *et al.*, 2013). Entre as vantagens do reúso estão a recuperação de água e nutrientes que podem ser utilizados na agricultura (MOTA *et al.*, 2007).

Entretanto o reúso de águas residuárias tratadas possui algumas implicações e obstáculos técnicos, ambientais, socioeconômicos e legais: o reúso em áreas sensíveis pode resultar em contaminação das águas subterrâneas, sendo imprescindíveis soluções técnicas de tratamento que promovam um efluente viável para reutilização, além da atenção às questões

de saúde, custo de tratamento, benefícios agregados, e adoção de padrões relevantes e apropriados para o reúso (MIZYED, 2013).

Assim, entende-se que tecnologias mais acessíveis de tratamento de esgoto com fins de reúso auxiliariam na difusão de infraestrutura em saneamento, colaborando para melhorar a qualidade de vida das comunidades rurais e periurbanas. Nestes casos, os sistemas descentralizados têm se mostrado como uma opção de custo inferior aos sistemas centralizados especialmente em comunidades periurbanas e rurais (BERNAL e RESTREPO, 2012; USEPA, 2005).

Métodos quantitativos são essenciais no auxílio à decisão. Metcalf e Eddy (2003) identificaram vários fatores importantes a considerar para avaliação e seleção dos sistemas de tratamento. Dentre eles destacam-se: características do afluente; constituintes inibidores e recalitrantes; disponibilidade de terreno; eficiência do sistema; restrições ambientais; requisito de energia, requisito de pessoal; requisito de manutenção e operação; viabilidade e complexidade.

Para Leoneti *et al.* (2010) a eficiência e o custo são fatores decisivos na escolha dos sistemas de tratamento, embora estas duas variáveis possam demonstrar algum conflito, pois o sistema de menor custo não necessariamente virá a ser o de melhor eficiência, porquanto a escolha deve atender às exigências ambientais.

Assim, em virtude do tratamento descentralizado oferecer a oportunidade de tratar o esgoto doméstico próximo a sua fonte de geração, em zonas rurais e periurbanas, com menores custos e baixo ou nenhum consumo de energia, torna-se uma alternativa muito atrativa para países em desenvolvimento (RODRIGUES, 2009).

Diante do exposto é importante que estes sistemas sejam avaliados em múltiplas perspectivas. Neste trabalho propõe-se uma avaliação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto em termos do custo mínimo, da melhor qualidade físico-química e microbiológica do efluente, objetivando a minimização dos riscos à saúde do trabalhador rural, tendo em vista a destinação final no reúso agrícola.

## **2 – OBJETIVOS**

### *2.1 - Objetivo Geral*

Analisar econômica, ambiental e socialmente sistemas descentralizados de tratamento de esgotos na modalidade unifamiliar, para reúso da água residuária tratada na irrigação de palma forrageira (*Opuntia Ficus indica*), utilizando como cenário a comunidade Periurbana rural do assentamento Santa Cruz - PB.

### *2.2 - Objetivos Específicos*

1. Orçar os custos de implantação, operação e manutenção de cinco unidades de tratamento descentralizado de esgotos, e de um sistema de reúso unifamiliar;
2. Avaliar as alternativas de tratamento de esgoto em função das dimensões: econômica (menor custo), ambiental (melhor eficiência de remoção), e social (redução do risco à saúde dos agricultores);
3. Selecionar a melhor alternativa de tratamento com base nas três dimensões avaliadas.

### 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 – Saneamento básico e saúde

As principais regulamentações do setor de saneamento no Brasil estão representadas: pela Lei 11.445/2007, que baliza as diretrizes nacionais para o saneamento básico; pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei 9.433/1997 e pela lei 12.305/2010 que institui a Política nacional dos resíduos sólidos (BRASIL, 1997; 2007; 2010).

A lei 11.445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, e um dos seus princípios fundamentais é a universalização, a qual se realiza pela ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ao saneamento básico (BRASIL, 2007). A lei define saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) **abastecimento de água potável**: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
- b) **esgotamento sanitário**: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- c) **limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos**: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, disposição, tratamento, e destino final do lixo doméstico, e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- d) **drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**: conjunto de atividades, infraestruturas, e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

Contudo, embora as ações de saneamento compreendam todas estas modalidades, na maioria das vezes em que foi citada a palavra saneamento neste trabalho considerou-se apenas a modalidade esgotamento sanitário.

Em consequência da ausência de saneamento adequado, em pleno século XXI, século das grandes revoluções tecnológicas em todas as áreas do conhecimento, aproximadamente 2,5 milhões de pessoas ainda morrem vítimas de diarreia por ano (KOSEK *et al.*, 2003),

denotando que alguns problemas antigos não têm recebido a devida atenção. O que se evidencia pelo fato de mais de 90% dos esgotos domésticos em países em desenvolvimento ainda são lançados sem tratamento, poluindo rios, lagos e áreas costeiras (LANGERGRABER E MUELLEGGER, 2005).

O Brasil apesar do seu visível crescimento, ainda é um país de grandes desigualdades sociais e econômicas, podendo ser medidas dentre outras, pelo nível de qualidade dos serviços prestados à sociedade. Como exemplo desta desigualdade destaca-se o baixo índice de atendimento relativo a esgotamento sanitário, serviço básico que deveria ser oferecido a toda a população. O déficit ao acesso relaciona-se principalmente à coleta e tratamento de esgoto.

Dados do Sistema nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) informam que os índices nacionais de atendimentos rural e urbano em 2012 foram de 48,3% para coleta de esgotos e 38,7% para tratamento de esgotos gerados, demonstrando o quanto o Brasil esta longe da universalização pretendida e necessária (BRASIL 2014a).

É nas regiões Norte e Nordeste onde se encontram os piores índices de coleta de esgotos da ordem de 9,2% e 22,2% respectivamente, e de 14,4% e 31,0% para o tratamento de esgotos, contrastando com as regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste notoriamente as mais desenvolvidas economicamente (BRASIL, 2014a). A Tabela 3.1 apresenta o nível de atendimento com água e esgotos no Brasil segundo a região geográfica.

Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos gerados (%)
	Água		Coleta de esgotos		
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
	(IN <sub>055</sub> )	(IN <sub>023</sub> )	(IN <sub>056</sub> )	(IN <sub>024</sub> )	(IN <sub>046</sub> )
Norte	55,2	68,6	9,2	11,9	14,4
Nordeste	72,4	89,5	22,2	29,4	31,0
Sudeste	91,8	97,0	75,4	80,3	42,7
Sul	87,2	97,2	36,6	42,7	36,2
Centro-oeste	88,0	96,5	42,7	47,1	44,2
<b>Brasil</b>	<b>82,7</b>	<b>93,2</b>	<b>48,3</b>	<b>56,1</b>	<b>38,7</b>

**Tabela 3.1 - Nível de atendimento com águas e esgotos no Brasil segundo a região geográfica**

Fonte: BRASIL (2014) adaptado

Os maiores déficits dos serviços de esgotamento sanitário podem ser observados nas áreas rurais, nas pequenas localidades, na periferia das grandes cidades, e nos bairros com população de baixa renda, sendo a distribuição do atendimento o sinal característico da iniquidade social, pela concentração nítida dos investimentos nas regiões mais desenvolvidas (BRASIL, 2014a; GALVÃO JR., 2009), embora a lei 11.445, estabeleça a observância, entre

outras, da diretriz que visa garantir meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares (BRASIL, 2007).

Desta forma a pobreza, a subnutrição, os hábitos insuficientes de higiene, e a má distribuição do serviço de saneamento básico têm prejudicado principalmente a população de baixa renda, considerando que 88% das mortes por diarreia no mundo são causadas pelo saneamento inadequado. Todo ano aproximadamente 2 milhões de crianças morrem de diarreia ao redor do mundo, a maioria em países pobres. A diarreia é a terceira causa mais comum de morte entre crianças abaixo de cinco anos de idade (VICTORA, 2009).

No Brasil, as regiões Norte e o Nordeste apareceram entre 2009 e 2011 como as áreas com as taxas mais elevadas de internações por diarreias, sendo os gastos do SUS em 2011 com internações por diarreia no país de R\$ 140 milhões (KRONEMBERGER, 2013). Pode-se afirmar que a universalização do saneamento entre outras medidas, contribuirá para a melhoria da saúde pública (BRASIL, 2013; LEONETI *et al.*, 2011).

Construir meios simplificados e eficientes de tratamento de esgotos é uma forma de contribuir para a universalização do saneamento. Quanto menos esgoto não tratado for lançado no ambiente, seja no corpo aquático ou no solo, menor também será a poluição causada por ele ao meio ambiente. Os benefícios alcançam vários setores da sociedade e podem ser: melhora da saúde pública, inclusão social de comunidades carentes, geração de empregos e ampliação da capacidade produtiva das pessoas (WAGNER, 2008).

Notadamente os impactos causados pela falta de saneamento se refletem no meio ambiente, na saúde, na educação e na qualidade de vida da sociedade. Portanto o saneamento básico é de suma importância e se constitui em um elemento essencial no processo de desenvolvimento de um país.

### *3.2 - Sistemas de tratamento de esgoto descentralizados*

O modelo de gestão centralizado consiste no tratamento convencional, cujo processo se inicia com a coleta do efluente de várias localidades, seguindo para as estações elevatórias de onde é recalcado para plantas de grande porte, com disposição ou reúso do efluente tratado geralmente localizado em área distante do ponto de tratamento (CRITES & TCHOBANOGLOUS, 1998).

Conforme Otterpohl *et al.* (1997), a gestão centralizada de águas residuárias possui inúmeras desvantagens dentre as quais se pode enumerar: o alto custo de manutenção das redes coletoras, um elevado consumo de energia para a degradação da matéria orgânica e para a nitrificação, além da alta produção de lodo e do grande desperdício de nutrientes, os quais poderiam ser reutilizados na agricultura.

Os sistemas descentralizados, por sua vez, tratam águas residuárias de residências, condomínios, e indústrias (USEPA, 2005), demandando menores áreas para sua construção, possibilitando ainda coletar, tratar, reusar ou dispor no solo o efluente final nas proximidades do seu ponto de geração (BERNAL e RESTREPO, 2012).

No que concerne à avaliação e seleção de sistemas de tratamento, Metcalf e Eddy (2003) identificaram vários fatores importantes a considerar, dentre eles destacam-se: características do afluente; constituintes inibidores e recalcitrantes; disponibilidade de terreno; eficiência no sistema; restrições ambientais; requisitos de energia, pessoal, de manutenção e operação; viabilidade e complexidade.

O conceito da gestão descentralizada de águas residuárias prenuncia vantagens sobre as práticas convencionais para o desenvolvimento de novos sistemas. As vazões afluentes são menores, o que implica menos danos ao meio ambiente em caso de algum incidente. A construção do sistema também resultaria em menos perturbações ambientais, como os tubos de coleta são menores seriam instalados em profundidades rasas tornando a instalação mais flexível (NHAPI, 2004).

Sistemas descentralizados necessitam de menos recursos sendo considerados como forma de saneamento de menores impactos ambientais, além de produzir efluentes com qualidade confiável para reúso não potável (FANE *et al.*, 2001)

Estudos têm abordado e comprovado a utilização desses sistemas como uma opção de boa eficiência e baixo custo de investimento, no que diz respeito a sua implantação, operação e manutenção (HOFFMANN *et al.*, 2004; NHAPI, 2004; PHILIPPI, 2007).

Em comunidades rurais, onde normalmente existe um número pequeno de residências relativamente distantes umas das outras, os sistemas descentralizados se mostram como uma opção viável tanto pela minimização dos custos de implantação como pela redução ou eliminação de vias de transporte do efluente e sistemas de bombeamento (PHILIPPI, 2007).

A implantação de plantas de tratamento descentralizado, principalmente em cidades de países em desenvolvimento, requer a integração do planejamento urbano com o de recursos

hídricos baseado na geografia, distribuição espacial e usos da terra, para que possa ser definido o nível de descentralização, solução individual (unifamiliar) ou tratamento em blocos de residências (multifamiliar), e avaliação do potencial de reutilização em cada setor. Neste sentido é essencial promover a descentralização como uma solução inovadora para os problemas de poluição, melhora da cobertura de tratamento de esgoto, e encontro de padrões de qualidade que garantam a saúde pública e a proteção do ambiente (BERNAL e RESTREPO, 2012).

O sistema descentralizado multifamiliar (*Cluster*), coleta e trata águas residuárias de duas ou mais casas ou edifícios, devendo ser construído em um local adequado próximo da área servida (LI, 2010). Também conhecido como sistemas comunitários, sistemas em cluster são uma opção de tratamento quando os sistemas individuais ou centralizados de tratamento não são opções viáveis (USEPA, 2010).

A descentralização não é um novo modelo de gestão de águas residuárias. Algumas das tecnologias sugeridas e utilizadas são bem antigas: a fossa (1860), tanque séptico (1985), e o tanque Imhoff (1906), (LOFRANO e BROWN, 2010). O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (Reator UASB) foi desenvolvido por volta de 1970, porém teve maior propagação na década de 1980 (SANT'ANNA JR., 2010).

Dos sistemas apresentados o tanque séptico é um sistema de tratamento de esgoto, onde o ponto de geração da água residuária, seu tratamento e disposição final são próximos entre si, não demandando a necessidade de uma grande infraestrutura. Trata-se do sistema anaeróbio mais aplicado e comum, embora sua baixa eficiência na remoção na matéria orgânica, na faixa de 30 a 60% (NUVOLARI, 2003), e de organismos patogênicos e nutrientes possa demandar um pós-tratamento (MOUSSAVI *et al.*, 2010).

O tanque séptico pode ter forma cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, e o tratamento do efluente ocorre por meio do processo de sedimentação, flotação e digestão. Aplica-se principalmente ao tratamento de esgoto doméstico, e é indicado para áreas onde não há rede coletora pública de esgotos. O tanque séptico só pode ser empregado se for comprovado não haver danos às águas superficiais e subterrâneas (ABNT, 1993; JORDÃO e PESSOA, 2005).

Mais recentemente reatores UASB e suas variantes têm sido pesquisados como alternativa ao tanque séptico (SABRY, 2010). As pesquisas relativas à sua utilização no Brasil iniciaram-se na década de 1980, e por demonstrarem vantagens de simplicidade de operação,

boa eficiência de remoção de matéria orgânica, e baixa produção de um lodo já estabilizado, tudo isto a um baixo custo, os reatores UASB obtiveram destaque no desenvolvimento de pesquisas de muitos grupos de pesquisadores e engenheiros sanitaristas (ALEM SOBRINHO E JORDÃO, 2001).

Embora o reator UASB apresente uma eficiência de remoção da matéria orgânica considerada boa, entre 55 a 75%, demonstra baixa ou nenhuma eficiência na remoção de nutrientes. Entretanto, por causa da geração de maus odores do processo anaeróbico, há certa rejeição à utilização destes reatores na zona urbana, apesar de existirem soluções viáveis a este problema pela cobertura dos reatores, e aproveitamento do biogás produzido (ALÉM-SOBRINHO E JORDÃO, 2001). Quanto à baixa eficiência na remoção de nutrientes, não se constitui um problema, se a destinação final for o reúso na agricultura, onde os nutrientes poderiam ser recuperados.

Outro exemplo de sistema descentralizado é o filtro anaeróbico, o qual pode ser utilizado tanto como única etapa de tratamento quanto como tratamento complementar. Consiste em um reator biológico de fluxo ascendente ou descendente, no qual o efluente é tratado por microrganismos anaeróbicos, os quais crescem aderidos ao meio suporte de brita, areia ou peças de plástico (ABNT, 1997; SANT'ANNA JR., 2010).

Os filtros anaeróbicos apresentam vantagens como boa remoção de material carbonáceo e sólidos suspensos, remoção de ovos de helmintos, baixo custo operacional, manutenção simples, não requerendo uso de energia elétrica, e sua produção efluente pode ser reutilizada na irrigação com água residuária tratada. Contudo requer pós-tratamento para remoção de coliformes e nutrientes (JORDÃO e PESSOA, 2005; ANDRADE NETO *et al.*, 2002 ).

As tecnologias anaeróbicas apesar de não possuírem uma boa remoção de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos em comparação com as aeróbicas, são muito empregadas em função do seu baixo custo de implantação, operação e manutenção, compactidade, nenhum consumo de energia, e boa eficiência de remoção de poluentes (MASSOUD *et al.*, 2009).

Por sua vez, o filtro de areia aeróbico, na modalidade intermitente, é um processo de tratamento onde a depuração ocorre por meio da percolação do esgoto nas camadas de areia, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos no tratamento do esgoto. A aplicação do efluente de forma intermitente auxilia na condição aeróbia no interior do filtro (ABNT, 1997; TONETTI *et al.*, 2012).

O filtro de areia intermitente promove uma produção confiável de efluente secundário com alta qualidade sanitária, e altos níveis de nitrificação, remoção consistente de matéria orgânica e de sólidos suspensos, além de uma redução significativa de patógenos, efluente relativamente sem odor, e com rotina de manutenção anual, com disponibilidade de dados de 25 a 30 anos em muitas condições (PARTEN, 2010).

Entretanto como desvantagens apresentam-se: a demanda por maiores áreas, detalhamento elevado de projeto necessário para garantia de operação e desempenho adequado, e potencial de infiltração de água pluvial a qual pode aumentar a carga hidráulica na zona de dispersão de efluentes (*Idem*).

No que tange aos sistemas compactos anaeróbio-aeróbio, pesquisas recentes têm indicado vantagens relacionadas à qualidade do tratamento, com geração de efluentes atendendo aos padrões ambientais com demanda de menores áreas para implantação (ANDRADE *et al.*, 2012).

Os sistemas compactos, promovem desempenhos bem melhores do que as associações anaeróbias convencionais, apresentando boa eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos totais, e nitrogênio. Entretanto pode requerer pós-tratamento para remoção de coliformes termotolerantes (*Idem*).

Segundo Chan *et al.*, (2009) tratamentos anaeróbio-aeróbio têm recebido grande atenção nas últimas décadas, devido às suas inúmeras vantagens, tais como: baixo consumo de energia, baixo consumo de produtos químicos, baixo produção de lodo, vasto potencial de recuperação de recursos, e alta simplicidade operacional.

Desta forma sistemas anaeróbio-aeróbios podem ser viáveis para implantação em áreas com baixa densidade populacional, onde a gestão centralizada não é indicada. Considerados como solução de baixo custo e eficiência satisfatória, o efluente pode ser empregado na agricultura familiar.

### 3.2.1 - Eficiência de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados

A eficiência do sistema de tratamento de esgoto é uma das principais características das alternativas a serem analisadas, pois determina, entre outros aspectos, a viabilidade ambiental do sistema quanto à disposição final do efluente conforme a legislação vigente.

A Agência Ambiental Americana estabelece padrões para o reúso urbano e agrícola, determinando as diretrizes para os parâmetros importantes nas modalidades do reúso pretendidas, constituindo-se em uma referência importante para países que não possuem padronização própria bem estabelecida (USEPA, 2012).

Por exemplo, a qualidade da água recuperada para reúso na agricultura, na categoria de culturas não consumidas por humanos deve atender aos seguintes valores limites: DBO  $\leq$  30mg/l, Sólidos suspensos totais  $\leq$  30mg/L, e Coliformes Termotolerantes  $\leq$  200 UFC/100ml (USEPA, 2012).

No Brasil, quando o destino final das águas residuárias tratadas de origem essencialmente doméstica é o reúso local, a NBR 13969/1997 define quatro classes de reúso com respectivos valores de parâmetros de eficiência do tratamento, conforme pode ser visto no quadro 3.1 (ABNT, 1997).

Contudo existem as vias de disposição do efluente tratado com seus respectivos padrões de eficiência: o lançamento em corpos d'água, regulamentado pela resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) complementada pela resolução do CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), e a disposição no solo, conforme a NBR 13.969:1997 (ABNT, 1997).

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	PARÂMETROS						PÓS-TRATAMENTO
		TURBIDEZ (UNT)	CTT (UFC/100mL)	SÓL. DISSOLVIDOS (mg/L)	COLORO (mg/L)	PH	O <sub>2</sub> DISSOL. (mg/L)	
CLASSE1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspersão de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	< 5	2,00E+02	< 200mg/L	0,5 $\leq$ CL $\leq$ 1,5	6 $\leq$ PH $\leq$ 8	-	Aeróbio seguido de filtração e cloração
CLASSE2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	< 5	5,00E+02	-	> 0,5	-	-	Aeróbio seguido de filtração de areia e desinfecção.
CLASSE3	Reuso nas descargas dos vasos sanitários	< 10	5,00E+02	-	-	-	-	cloração
CLASSE4	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	-	5,00E+03	-	-	-	> 2	-

**Quadro 3.1 – Classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos, conforme o tipo de reúso**  
Fonte: ABNT, (1997) Adaptado

A reutilização de esgoto doméstico tratado na agricultura pode envolver alguns riscos como: poluição do solo devido à salinização, contaminação por patógenos e ou poluentes. Assim, na escolha do sistema de tratamento, a eficiência do mesmo é de suma importância, para garantir a produção de efluentes de acordo com as diretrizes de qualidade definidos (USEPA, 2012).

Sistemas descentralizados necessitam de menos recursos e tem sido considerados uma forma de saneamento de menores impactos ambientais, além de produzir efluentes com qualidade confiável para reúso não potável (FANE *et al.*, 2001).

Portanto, uma eficiência adequada na remoção de poluentes físico-químicos e de patógenos no sistema de tratamento de esgoto é condição indispensável na óptica da preservação dos recursos naturais e da melhoria das condições de saúde pública, principalmente quando a destinação final proposta for o reúso na agricultura, onde haverá provável exposição do agricultor à água residuária tratada.

### 3.3 - *Reúso de águas residuárias tratadas*

No contexto do rápido crescimento populacional, e da redução da quantidade de água com qualidade para consumo, dados da organização mundial da saúde indicam para os próximos cinquenta anos, a probabilidade de mais de 40% da população mundial viver em países enfrentando estresse hídrico ou escassez hídrica (WHO, 2006), constituindo-se em cenários onde a reutilização de águas residuárias tratadas poderia vir a ser totalmente recomendável.

No Brasil a regulamentação do reúso é representada pela resolução nº 54 de 2005 do conselho nacional de recursos hídricos, a qual destaca o reúso de água como uma prática de racionalização e de conservação dos recursos hídricos, tendo em mente a sua escassez, a qual é visualizada em aspectos de quantidade e qualidade. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional, ressaltando ainda, que a prática do reúso reduz os custos associados à poluição, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública (BRASIL, 2005).

Conforme a resolução nº 54 de 2005, o reúso direto não potável se divide nas modalidades:

**I - reúso para fins urbanos:** utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combates a incêndios dentro da área urbana;

**II - reúso para fins agrícolas e florestais:** aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III – **reúso para fins ambientais**: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV – **reúso para fins industriais**: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;

V – **reúso na aquicultura**: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

A Agência Ambiental Americana estabelece padrões e recomendações para reúso nas categorias urbano e agrícola. A categoria agrícola divide-se em: reúso em cultura alimentares e não alimentares. No primeiro tipo de reúso, utiliza-se a água residuária no cultivo de alimentos destinados ao consumo humano. No segundo caso, o reúso em cultura não alimentícia, a utilização da água residuária é feita na irrigação de culturas que não são consumidas pelos seres humanos, incluindo as forragens, fibras e culturas de sementes, ou para irrigar pastagens (USEPA, 2012).

Prioritariamente o reúso é uma alternativa à utilização de água potável para fins menos nobres. Sendo uma prática consolidada, tem como principais vantagens, a economia de água, a redução da carga poluidora afluente aos corpos receptores de esgoto, a recuperação de nutrientes na agricultura, e a recuperação de água, caracterizando-o como uma ação ambientalmente sustentável.

Não obstante as vantagens potenciais do reúso, existem muitas barreiras políticas e socioculturais relativas à sua aceitação, somente contornadas por meio do esclarecimento da população quanto aos custos, benefícios, e riscos sanitários potenciais dessa prática (MIZYED, 2013; REZENDE, 2011). De acordo com WHO (2006), a maioria das questões políticas em relação ao reúso para serem investigadas são referentes à saúde pública, proteção ambiental e segurança alimentar.

As regulações deveriam encorajar o reúso de água residuária tratada para incrementar o suprimento de água na agricultura, melhorar a segurança alimentar e reduzir a pobreza em comunidades agrícolas e rurais. E ao mesmo tempo, estas regulações deveriam proteger a saúde pública, permitir o reúso seguro, levando em consideração a cultura local e as condições socioeconômicas (MIZYED, 2013).

As preocupações com saúde e o ambiente no sentido de melhoria das condições sanitárias e de higiene, estão resultando na necessidade de incrementar os sistemas de coleta e tratamento de águas residuárias. Projetos existentes relativos ao design e construção de

sistemas de disposição de águas residuária estão abrindo novas oportunidades para melhorar condições sanitárias e aumentar a utilização destas na agricultura (*Idem*).

Segundo Nhapi (2004), o efluente de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto destinado ao reúso, apresenta potenciais riscos à saúde podendo ser reduzidos através do emprego de desinfecção, evitando métodos de irrigação por aspersão, e efetuando o manuseio seguro, onde os trabalhadores usam vestimentas adequadas para sua proteção.

Em alguns países como Israel, Tunísia, Chipre e Jordânia, o reúso de águas residuárias na agricultura é uma realidade consolidada (SANTOS D.C., 2013). Em Israel 70% do esgoto sanitário é utilizado na agricultura (WHO, 2006). Na Jordânia predomina a irrigação de forragens com alguma aplicação em palmeiras e oliveiras, enquanto em Israel sistemas de tratamento descentralizados como os sistemas alagados construídos verticais têm sido testados e aplicados na irrigação de árvores frutíferas e jardins (USEPA, 2012).

No entanto, Barroso e Wolff (2011) em suas conclusões, alertam a respeito dos cuidados relativos ao manejo adequado da irrigação com água residuária, do acompanhamento das modificações das características do solo e da cultura, como também dos efeitos deste tipo de irrigação sobre o solo, os quais podem tornar-se fatores limitantes do uso prolongado na irrigação de culturas agrícolas.

Ainda assim, no Brasil em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez hídrica é um grave problema enfrentado pela população, constata-se que reutilizar água residuária na agricultura é altamente recomendável, pois, essa prática auxilia na redução do consumo de água potável na irrigação além de minimizar a necessidade de fertilizantes químicos.

#### *3.4 - Estimativa dos Custos de sistemas de tratamento de esgoto.*

A estimativa dos custos totais de implantação, operação e manutenção de sistemas de tratamento de esgoto é uma etapa fundamental na escolha da melhor e mais viável alternativa. A opção a ser preliminarmente adotada dependerá desta estimativa tendo como base os estudos técnicos e demais considerações. A partir de levantamentos técnicos feitos de cada estação, considerando as variáveis de implantação, operação e manutenção, tem-se a composição dos custos totais dos sistemas de tratamento (Von SPERLING, 2005).

Os custos totais são obtidos por meio de orçamento composto pelos serviços a serem executados do empreendimento, a sua quantificação conforme projetos, os preços destes

serviços somados aos custos das leis sociais, os quais multiplicados pelas quantidades geram o custo total orçado.

A elaboração de orçamento é indispensável e deve ser uma das primeiras informações a ser conhecida quando se estuda a viabilidade um projeto, tenha o empreendimento fins lucrativos ou não, e objetiva analisar a viabilidade econômica do empreendimento e sua rentabilidade (GOLDMAN, 2004).

Compondo também os preços dos serviços, agregado aos custos diretos da construção está a parcela dos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), compreendendo os custos com: serviços de reconhecimento, projetos, aprovação e licenciamento, serviços de apoio, lucro, dentre outros (PARGA, 2003).

A normatização brasileira oferece subsídios para a concepção de projeto, construção, operação e manutenção dos sistemas de tratamento de água residuária tais como: Tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro aeróbio (ABNT, 1993; ABNT, 1997) auxiliando, desta maneira, a estimativa dos custos concernentes a estes.

Normalmente os recursos disponíveis a serem gastos com esgotamento sanitário são limitados, sendo importante obter estimativas realistas acerca do custo de implantação das diferentes abordagens de sistemas de tratamento de águas residuárias, determinando sua viabilidade em cada contexto e as necessidades do projeto. Cabe salientar que o sistema mais sustentável e de melhor custo e benefício, não será necessariamente o de menor custo inicial de instalação, mas o de menor custo efetivo global, compreendendo os serviços de operação e manutenção (PARTEN, 2010).

Além da limitação de recursos a serem empregados com vistas à universalização do saneamento, as questões institucionais, como a fragmentação na aplicação das políticas setoriais por diversos órgãos do governo federal, a indefinição da titularidade dos serviços, e sua regulação, também tem dificultado o avanço do atendimento (GALVÃO JÚNIOR, 2009).

Conforme já anteriormente discutido, o tratamento centralizado demanda um alto custo de investimento, de operação e manutenção, além de requerer pessoal treinado. Por estas razões uma abordagem intermediária ou descentralizada de gestão de águas residuária é premente, objetivando a conservação dos recursos e a redução dos impactos ambientais da atual abordagem (NHAPI, 2004).

O tratamento descentralizado oferece a oportunidade de tratar o esgoto doméstico próximo a sua fonte de geração, em zonas rurais e periurbanas, com menores custos e baixo

consumo de energia, tornando-se uma alternativa muito atrativa para países em desenvolvimento (RODRIGUES, 2009).

Por outro lado apesar das vantagens e da evidente sustentabilidade da implementação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, é necessário destacar que estes tendem a minorar a economia de escala, sendo, na maioria das vezes, indicados para casos específicos, como áreas periurbanas e rurais (MASSOUD *et al.*, 2009).

Entretanto escolher a tecnologia de tratamento mais apropriada não é uma tarefa fácil, embora necessária para garantir a redução do risco de futuros problemas e falhas. A tecnologia viável está diretamente ligada a condições econômicas, e a tecnologia apropriada está relacionada às condições ambientais e sociais. Para um sistema ser ambientalmente sustentável ele deve assegurar: a proteção da qualidade ambiental, a conservação dos recursos naturais e o reúso da água, reciclando os nutrientes (*idem*).

Para Leoneti, (2010) a eficiência e o custo são fatores decisivos na escolha dos sistemas de tratamento, embora estas duas variáveis possam demonstrar algum conflito, pois o sistema de menor custo não necessariamente virá a ser o de melhor eficiência, tendo em vista que a escolha deve atender também às exigências ambientais. A alternativa de tratamento deve ser escolhida tendo em conta a viabilidade técnica, econômica e ambiental (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Logo, o menor custo total, composto pelas parcelas de implantação, operação e manutenção e a minimização dos impactos ambientais por meio de uma boa eficiência de remoção de contaminantes, podem ser adotados como critérios para seleção dos sistemas. Contudo estes critérios envolvidos têm de ser analisados objetivando a seleção do tipo de sistema mais adequado às condições de cada contexto.

Desta forma compreende-se que a escolha do melhor sistema deve buscar: a minimização de custos; do consumo de energia e outros insumos; minimização de resíduos gerados; e garantir a eficiência de remoção de poluentes.

#### 4 – MATERIAL E MÉTODOS.

A presente pesquisa é de natureza aplicada, e realizou-se no período de janeiro a dezembro de 2014, caracterizando-se como de abordagem quantitativa, sendo o método utilizado o estudo de caso. Quanto aos dados obtidos, a pesquisa se utilizou de fontes primárias e secundárias. As primárias foram obtidas a partir de: visitas ao assentamento, comunicação pessoal, e observação não participante.

Quanto às fontes secundárias, os dados que contribuíram para os cálculos das estimativas de custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas de tratamento, para análise do desempenho ambiental, e da eficiência sanitária estão explicitados no Quadro 4.1.

ECONÔMICOS	REFERÊNCIA
Custos de Implantação	NBR 13969/1997; NBR 7229/1993; PARTEN, 2010; USEPA, 2012; VON SPERLING, 2005; SEINFRA, 2014; OLIVEIRA JR. 2014.
Custos de Operação	
Custos de Manutenção	
AMBIENTAIS	SANTOS, 2013; MELO, 2013; MELO <i>et al.</i> , 2012; ANDRADE et al., 2012;
Eficiência de remoção	
Parâmetros físico-químicos e microbiológicos	
SOCIAIS	SANTOS, 2013; MELO, 2013; MELO et al., 2012; ANDRADE et al., 2012; WHO, 2006; USEPA, 2012
Qualidade sanitária	

**Quadro 4.1 – Fontes secundárias de dados da pesquisa**

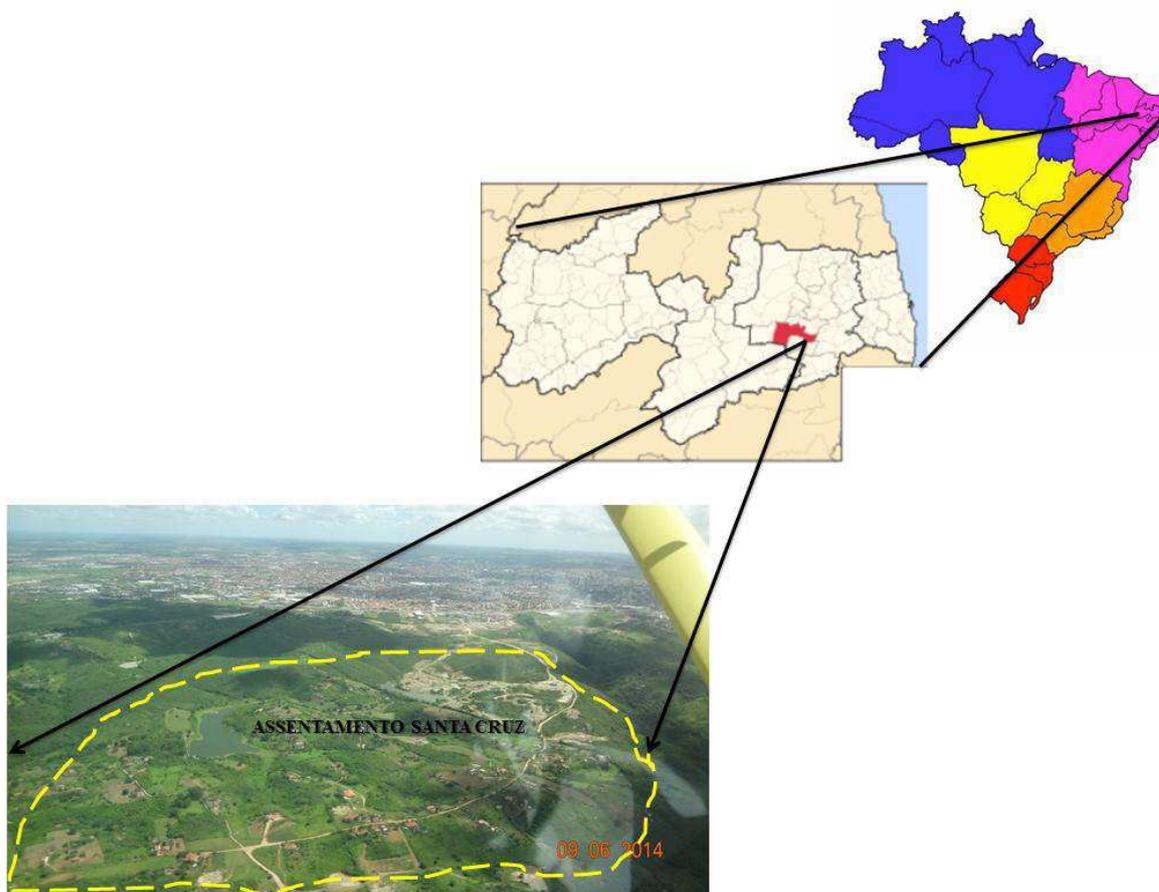
Fonte: O Autor

##### 4.1 – Descrição do cenário de aplicação.

O caso estudado é o assentamento periurbano rural Santa Cruz, com 12 anos de existência, situado na cidade de Campina Grande – PB, latitude: S 7° 15' 52"; longitude: O 35° 51' 24", a 458 m acima do nível do mar, localizada na mesorregião da Borborema na microrregião do Cariri Oriental com população assentada de 240 habitantes. O assentamento dista 3 km do perímetro urbano, com 60 famílias atualmente residentes em uma área de aproximadamente 257 ha.

Os lotes do assentamento possuem área média em torno de 4 hectares. Na localidade há um reservatório com aproximadamente 33,65 hectares. A Figura 4.1 apresenta a localização geográfica georeferenciada do assentamento santa cruz.

**Figura 4.1 – Localização Geográfica georeferenciada do Assentamento Santa Cruz em Campina Grande-PB**



Fonte: O autor; Oliveira Jr. (2014) imagem cedida.

A comunidade possui vocação agrícola como sua principal fonte de subsistência com criação de gado bovino e aves pela maioria dos assentados. A produtividade agrícola é considerada média pelo fato dos agricultores praticarem a cultura de sequeiro, o que na opinião do autor poderia ser melhorado se houvessem sistemas de irrigação (ALBUQUERQUE JR., 2011).

Os assentados praticam a cultura tradicional de milho, feijão e fava, a horticultura e floricultura, plantam também batata doce, macaxeira, inhame, capim e palma forrageira (BEZERRA *et al.*, 2005).

O tipo de agricultura praticada no assentamento, a de subsistência, pode estar associada à renda familiar baixa dos agricultores, sendo o excedente da produção vendida a atravessadores (ALBUQUERQUE JR., 2011).

Observou-se durante visita feita ao assentamento que algumas famílias fazem o reúso não controlado do esgoto *in natura* em algumas de suas culturas, o que poderia denotar provável aceitação por parte dos moradores ao reúso do esgoto doméstico tratado.

O quadro 4.2 apresenta a caracterização socioeconômica da população do assentamento e outras informações complementares.

<b>CARACTERIZAÇÃO SÓCIOECONÔMICA DA POPULAÇÃO</b>	
<b>Programas sociais</b>	
Governo Municipal/Federal	Seguro Safra e Bolsa família
ONG's	Acompanhamento de técnicos da COONAP contratada pelo INCRA
Universidades	UFCG
Igreja	Igreja católica
<b>Renda</b>	Aposentadorias Trabalhadores urbanos sem informação de caráter empregatício Complementação na agricultura familiar Criação de animais (principalmente porcos) Trabalhadores de reciclagem
<b>Vocação agrícola</b>	
Culturas	Culturas tradicionais (milho, feijão e fava) Horticultura Raízes (batata doce, macaxeira, inhame, etc.) Fruticultura Hortas medicinais Hortas de temperos Plantação de capim e palma forrageira
Formas de irrigação	Sistema PAIS (Produção agroecológica integrada e sustentável) : sistema por gotejamento.
Fontes para irrigação	Açude Pedro Agra
Número de sistemas PAIS	15 unidades
Potencial de aplicação de irrigação	Água de abastecimento relatada como insuficiente para manutenção do sistema PAIS
Pesca	Algumas famílias realizam pesca.
	Não há trabalho para garantir manutenção ou melhoria da atividade.

**Quadro 4.2 – Caracterização socioeconômica da população**

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

Ponderando-se acerca dos longos períodos de estiagem no semiárido nordestino, realça-se a importância da busca por fontes alternativas de alimentos com pouca necessidade de água na promoção do crescimento da cultura, com o objetivo de reduzir as avultadas perdas animais nestes períodos. Uma tecnologia aplicável ao semiárido é o plantio da palma forrageira, alimento rico em carboidratos, e capaz de armazenar água, constituindo-se em uma boa opção de alimento para bovinos, caprinos, ovinos (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

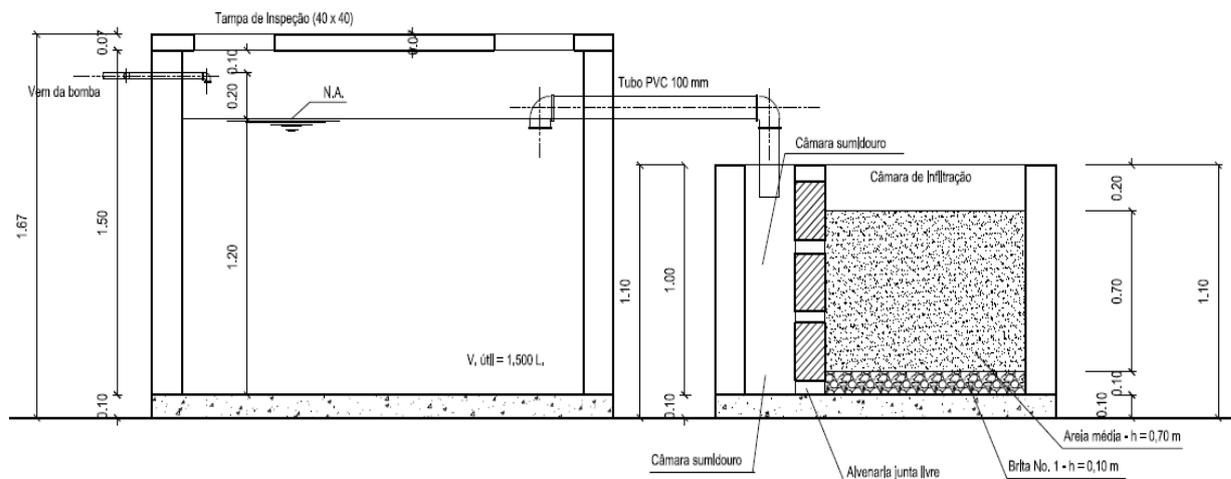
Ressalta-se no contexto das culturas praticadas pelos assentados que o aumento da produção de palma forrageira poderia garantir a alimentação dos animais criados pela comunidade mesmo em períodos de seca, o potencial para a venda do excedente com conseqüente geração de renda para os agricultores, e melhoria de sua qualidade de vida.

## 4.2 - Sistemas de tratamento de esgoto

### 4.2.1 – Descrição, configuração operacional e eficiências dos sistemas tratamento.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionadas cinco alternativas de sistemas de tratamento unifamiliar de esgotos com dados de eficiência existentes. Estes sistemas foram construídos e operados na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos (EXTRABES) situada na cidade de Campina Grande-PB, pelo Grupo de Pesquisa em Saneamento Ambiental (GPESA UFCG/UEPB), entre os meses de setembro de 2011 e junho de 2012, totalizando nove meses de dados. São eles: Tanque séptico; Reator UASB ‘Y’; Reator UASB convencional seguido de filtro anaeróbio; Reator UASB convencional seguido de filtro aeróbio e Estação compacta (UASB/Filtro anaeróbio/Filtro aeróbio).

**Figura 4.2: Esquema construtivo do sistema Tanque Séptico**

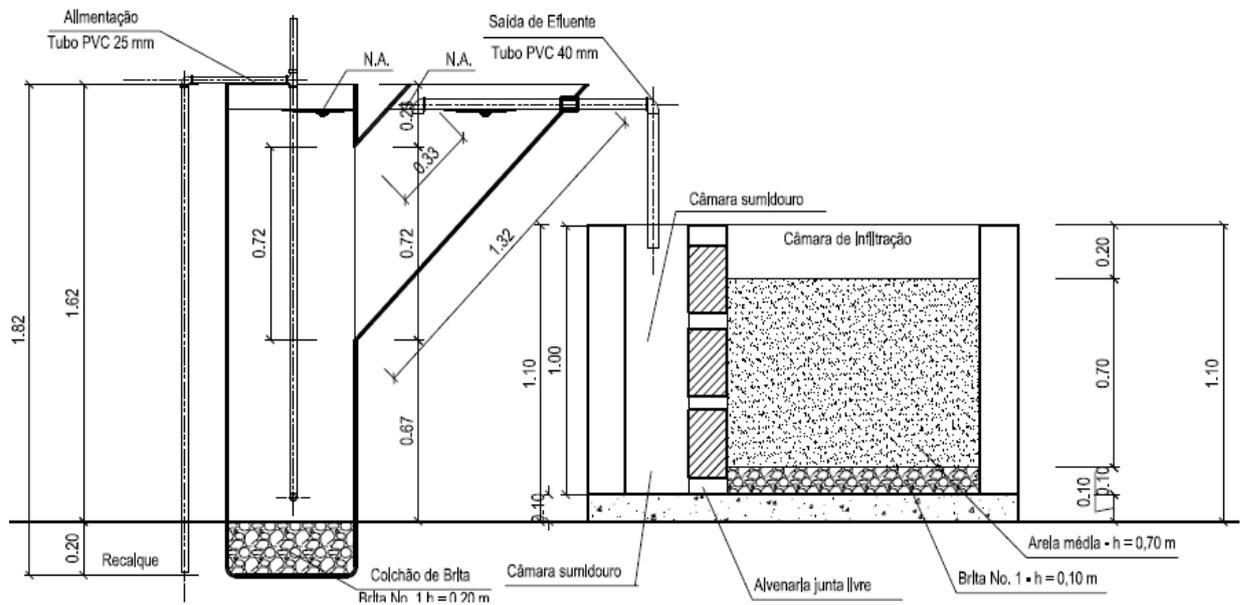


Fonte: Oliveira Jr. (2014)

O Tanque Séptico (TS) foi construído em alvenaria com volume útil de 1.500 Litros, Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 5,5 dias e vazão afluyente média de 279 L/dia (SANTOS, 2013). A Figura 4.2 apresenta o esquema construtivo do tanque séptico.

O reator UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) com separador de fases tipo braço “Y”, foi construído em fibra de vidro com volume útil de 355 Litros, e monitorado com TDH de 1,3 dias, e vazão afluyente média de 261 L/dia, (SANTOS, 2013). Na Figura 4.3 visualiza-se o esquema construtivo do reator UASB.

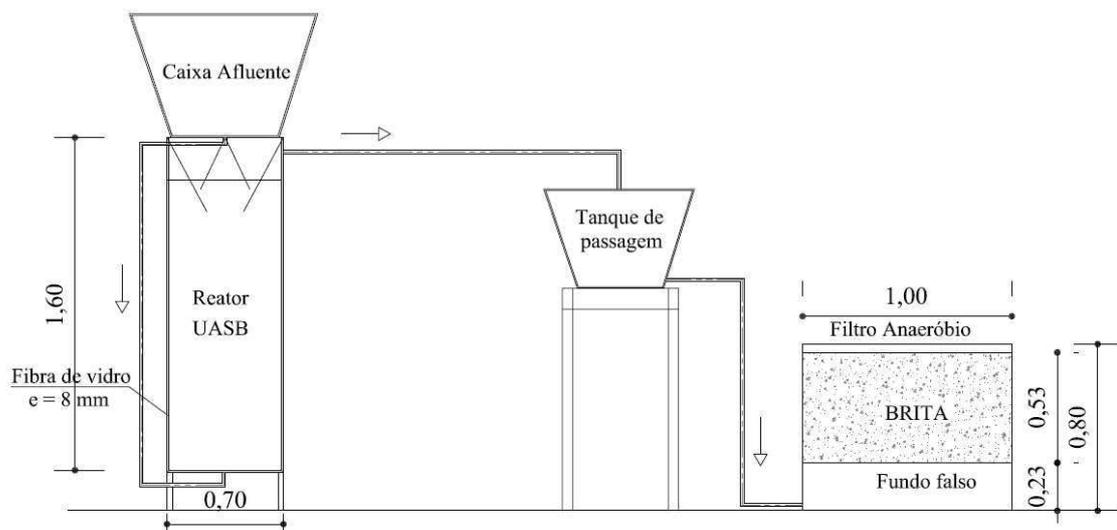
**Figura 4.3: Esquema construtivo do sistema reator UASB Y**



Fonte: Oliveira Jr. (2014)

O reator UASB convencional seguido de filtro anaeróbio foi construído em fibra de vidro com volume útil de 600 Litros, e monitorado com TDH de 0,95 dias, a vazão afluenta média era de 630L/dia. O reator alimentou paralelamente filtros diferentes para fins experimentais. O filtro anaeróbio, por sua vez, recebia do reator UASB uma vazão de 315L/dia, sendo construído em fibra de vidro com volume útil de 628 Litros e TDH de 1,27 dias, (MELO, 2013). A Figura 4.4 apresenta o esquema construtivo do reator UASB convencional seguido de Filtro Anaeróbio (FAN).

**Figura 4.4: Esquema construtivo do sistema reator UASB Convencional seguido de Filtro Anaeróbio**

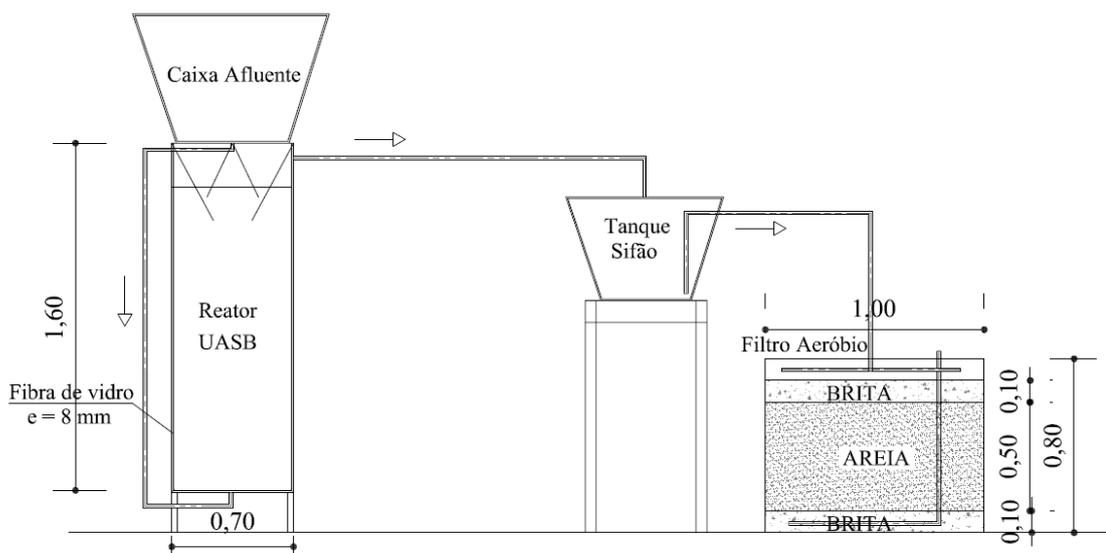


Fonte: O Autor.

O FaFint, foi construído em fibra de vidro com volume útil de 628 Litros, sendo monitorado com taxa de aplicação superficial de  $0,334 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$ , recebendo do reator uma vazão afluyente média de 315 L/dia, (MELO *et al.*, 2012).

Na Figura 4.5 pode-se observar o esquema construtivo do reator UASB Convencional seguido de FaFint.

**Figura 4.5: Esquema construtivo do sistema reator UASB Convencional seguido de Filtro Aeróbio**

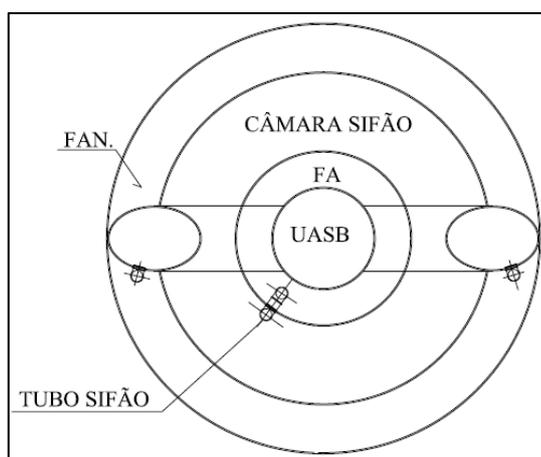


Fonte: O Autor

A estação compacta (UASB/Filtro anaeróbio/Filtro aeróbio) é um sistema que trabalha em conjunto tratando o efluente. Constitui-se de um reator UASB na configuração em duplo 'Y', seguido de Filtro Anaeróbio (FAN) e depois de um filtro aeróbio (FaFint) construídos em fibra de vidro. O volume útil do UASB é de 285 Litros, com TDH de 1 dia e vazão afluyente de 288 L/dia, seguindo-se de um FAN, com volume útil de 320 Litros, TDH de 1,08 dia e vazão afluyente de 288 L/dia. O FaFint possui um volume útil de 115 Litros, tendo sido monitorado com taxa de aplicação superficial de  $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$  com vazão média afluyente de 288 L/dia (ANDRADE *et al.*, 2012). A figura 4.6 mostra o esquema construtivo da estação compacta.

Estes cinco sistemas de tratamento foram selecionados por estarem entre os mais comumente utilizados em sistemas descentralizados de tratamento.

**Figura 4.6: Esquema construtivo da estação compacta.**



Fonte: O Autor.

Os dados existentes de eficiência de remoção relacionados aos parâmetros importantes no contexto do trabalho serão utilizados para a avaliação de eficiência, tanto do ponto de vista do padrão exigido para a disposição final do efluente, neste caso o reúso, como de saúde pública representada pela qualidade sanitária. A Tabela 4.1 apresenta as eficiências de remoção alcançadas nos sistemas descritos acima.

SISTEMA DE TRATAMENTO	EFICIÊNCIA MÉDIA DE REMOÇÃO (%)				
	DQO	SST	SSV	CTT	OH
TANQUE SÉPTICO	57,7	78,1	80,5	81,1	90,9 <sup>(1)</sup>
UASB 'Y'	60,5	80,5	82,1	71,2	90,9 <sup>(1)</sup>
UASB C + FAN	80	88,0	88	94,4 <sup>(1)</sup>	98,7
UASB C + FaFint	86	90	91	98 <sup>(1)</sup>	99,5
ESTAÇÃO COMPACTA	85	96	95	98,1	ND

DQO - (Demanda Química de Oxigênio)

SST - (Sólidos Suspensos Totais)

SSV - (Sólidos Suspensos Voláteis)

CTT - (Coliformes Termotolerantes)

OH - (Ovos de Helmintos)

ND - Não Detectado

(1) Oliveira Jr. *et al.* (2014)

**Tabela 4.1 – Eficiências de remoção dos sistemas de tratamento**

Fonte: O Autor

#### 4.3 - Projeto das unidades de sistemas de tratamento de esgoto e reúso.

O assentamento funcionou como cenário de estudo e referência para elaboração dos projetos construtivos (APÊNDICE A) com medidas reais das cinco alternativas de sistemas de tratamento unifamiliar de esgotos e reúso. Os projetos dos sistemas de tratamento de esgoto tiveram como base as Normas Técnicas da ABNT.

Com base nos projetos foram feitos os orçamentos sintéticos de implantação das cinco alternativas de sistema de tratamento: Tanque séptico; Reator UASB ‘Y’; Reator UASB convencional seguido de filtro anaeróbio; Reator UASB convencional seguido de filtro aeróbio e Estação compacta (UASB/Filtro anaeróbio/Filtro aeróbio).

No que diz respeito à concepção do projeto de reúso (APÊNDICE A), a sua área de abrangência delimitou-se com base no volume total de esgoto gerado no mês, adotando-se a contribuição diária de despejos de uma residência padrão baixo de 100 L/hab.dia<sup>-1</sup> (ABNT, 1997), servindo de base de cálculo para o orçamento sintético de implantação. Podem-se visualizar no quadro 4.3 as características consideradas para o projeto do sistema de reúso.

PARÂMETROS	DADOS	UND
Área de plantio	0,17	h a
Nº de linhas de plantio	26	Linhas
Vazão total diária	400,00	L.dia <sup>-1</sup>
Demanda de irrigação da palma (a cada 15 dias)	5	L/m
Frequência de aguação	2	mês <sup>-1</sup>
Demanda total de irrigação	10,66	m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup>
Volume equivalente total disponível no período	12,00	m <sup>3</sup> .mês <sup>-2</sup>
Vazão excedente	1,34	m <sup>3</sup> /período
Produção unifamiliar do plantio	44,73	t.ano <sup>-1</sup> .res. <sup>-1</sup>

**Quadro 4.3 – Parâmetros para o projeto de reúso**

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

#### *4.4 - Estimativa de custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas de tratamento e reúso.*

A análise econômica foi feita com base na soma das parcelas de custo de implantação, operação e manutenção as quais constituíram o custo total de cada sistema de tratamento. O Quadro 4.2 apresenta os itens considerados no cálculo das parcelas dos custos totais dos sistemas de tratamento e reúso.

Os itens de implantação foram orçados com base nos preços vigentes da construção civil contidos na Tabela unificada SEINFRA (Secretaria de Infraestrutura do estado do Ceará) ano base 2014, cujos preços são compostos pelo custo do material, custo da mão-de-obra com encargos sociais, Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

Os procedimentos para a estruturação do orçamento foram: elaboração do memorial de cálculo (cálculos quantitativos baseados nos projetos) consideraram-se as instalações

sanitárias desde a caixa de gordura, caixa de inspeção até a tubulação de saída do efluente do sistema, assim como a implantação do sistema; e orçamento sintético composto por: quantitativos, preço unitário e total.

	CUSTOS TOTAIS			REFERÊNCIA
	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO	CUSTO DE OPERAÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO	
<b>SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b>	Serviços Preliminares	Serviços do Operador	Mão-de-obra direta	NBR 13969/1997; PARTEN, 2010; USEPA, 2012; VON SPERLING, 2005.
	Movimento de Terra	Transporte de material	Reposição de Peças e Equipamentos	
	Fundações e Estruturas	Descarte de material	Aquisição de Meio Filtrante	
	Instalações Elétricas (onde for o caso)	Energia Elétrica Consumida (quando for o caso)	Reposição de Meio Filtrante (poliuretano, areia e brita)	
	Instalações Hidro-sanitárias		Transporte e Disposição adequada de Material Filtrante Colmatado	
	Revestimento		Transporte e Disposição final adequada de Lodo de Excesso	
	Impermeabilização			
	Reatores, poços e caixas			
	Serviços Diversos			
	<b>SISTEMA DE REUSO</b>	Serviços Preliminares	Serviços do Operador	
Movimento de Terra		Transporte de material	Reposição de Peças e Equipamentos	
Fundações e Estruturas		Energia Elétrica		
Instalações Elétricas				
Instalações Hidro-sanitárias				
Revestimento				
Impermeabilização				
Poços e Caixas				
Serviços Diversos				

**Quadro 4.4 – Composição das parcelas de custos dos sistemas de tratamento e reúso**

Fonte: O Autor

As parcelas de custo relativas à operação e manutenção das alternativas de tratamento foram estimadas com base nas normas da ABNT (ABNT, 1993; ABNT, 1997), e nos parâmetros da literatura (USEPA, 2012; Von SPERLING, 2005; PARTEN, 2010).

A partir das parcelas de custos, calculou-se o custo total de cada sistema somado ao custo do sistema de reúso. As parcelas anuais de custos referentes à operação e manutenção das unidades de tratamento e do reúso foram trazidos a Valor Presente (VP) calculado através da Equação 4.1 (GITMAN, 2004), com horizonte de projeto considerado de 20 anos. A taxa de custo de capital foi de 12% recomendada pelo Banco Mundial de Desenvolvimento (BID) para obras de infraestrutura em saneamento sem correção para inflação.

$$VP(i) = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{VF}{(1+i)^j} \right]$$

Equação 4.1

- VP (i) - Valor Presente;  
 i - Taxa de desconto;  
 j - período considerado do investimento;  
 VF - Valor Futuro = [0 ; n].

No que tange aos custos de implantação do sistema de reúso, foram estimados conforme cálculos quantitativos baseado no projeto construtivo, e seus custos de operação e manutenção calculados com base nos parâmetros referidos na literatura (PARTEN, 2010; ABNT, 1997).

#### 4.5 – Análise das alternativas de sistema de tratamento.

##### 4.5.1 – A análise econômica.

Os custos totais de cada proposta de sistema de tratamento de água residuária foram calculados através do somatório das parcelas referentes aos custos de implantação, operação e manutenção. Neste contexto se estabeleceu o critério para análise econômica, representado pelo menor valor total obtido. Os custos totais de cada unidade de tratamento foram calculados através da Equação 4.2.

$$CT = \sum_1^3 (C_{imp} + C_{op} + C_{man})$$

Equação 4.2

CT: Custos Totais (R\$).

$C_{imp}$ : Custo de Implantação (R\$).

$C_{op}$ : Custo de Operação (R\$).

$C_{man}$ : Custo de Manutenção (R\$).

Primariamente avaliaram-se os sistemas de tratamento somente no aspecto custo, demonstrando qual deles obteve o menor valor, classificando as alternativas em ordem crescente, objetivando avaliar qual dos sistemas poderia ser considerado o melhor segundo o critério econômico da proposta descentralizada de tratamento de águas residuárias. Na Tabela 4.2 explicita-se a classificação das alternativas conforme critério econômico.

CLASSIFICAÇÃO	SISTEMA DE TRATAMENTO	CUSTOS A VALOR PRESENTE (VP)				CUSTO/m <sup>3</sup>
		IMPLANTAÇÃO ( $C_{imp}$ )	OPERAÇÃO ( $C_{op}$ )	MANUTENÇÃO ( $C_{man}$ )	CUSTO TOTAL (CT)	
1°	ST <sub>A</sub>	$C_{impA}$	$C_{opA}$	$C_{manA}$	$\Sigma C_A$	CT <sub>A</sub> /m <sup>3</sup>
2°	ST <sub>B</sub>	$C_{impB}$	$C_{opB}$	$C_{manB}$	$\Sigma C_B$	CT <sub>B</sub> /m <sup>3</sup>
3°	ST <sub>C</sub>	$C_{impC}$	$C_{opC}$	$C_{manC}$	$\Sigma C_C$	CT <sub>C</sub> /m <sup>3</sup>
4°	ST <sub>D</sub>	$C_{impD}$	$C_{opD}$	$C_{manD}$	$\Sigma C_D$	CT <sub>D</sub> /m <sup>3</sup>
5°	ST <sub>E</sub>	$C_{impE}$	$C_{opE}$	$C_{manE}$	$\Sigma C_E$	CT <sub>E</sub> /m <sup>3</sup>

ST - Opções de Sistema de Tratamento

$C_{imp}$  - Custo de Implantação (R\$)

$C_{op}$  - Custo de Operação (R\$)

$C_{man}$  - Custo de Manutenção (R\$)

CT - Custo Total de cada sistema

$\Sigma C$  - Somatório das parcelas de custos (Implantação, Operação e Manutenção)

**Tabela 4.2 – Classificação das alternativas conforme critério econômico**

Fonte: O Autor

Com o objetivo de obter um indicador de custo por metro cúbico dos sistemas de tratamento, calculou-se a média do custo por metro cúbico destes por meio da equação 4.3 considerando a vazão anual (Von SPERLING, 2005).

$$C_{un} = \frac{C_{imp} + \frac{(C_{op} + C_{man})}{20}}{Q_{anual}}$$

Equação 4.3

$C_{un}$ : Custo unitário (R\$/m<sup>3</sup>).  
 $C_{imp}$ : Custo de Implantação (R\$).  
 $C_{op}$ : Custo de Operação (R\$).  
 $C_{man}$ : Custo de Manutenção (R\$).  
 $Q_{anual}$ : Vazão anual afluyente (m<sup>3</sup>/ano).

Para o cálculo do custo por metro cúbico tratado, considerou-se a vazão diária de um sistema unifamiliar de 100 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

#### 4.5.2 – A análise Ambiental

Como critério para a avaliação ambiental utilizou-se a eficiência de remoção dos poluentes dos sistemas (em termos de qualidade físico-química) dos parâmetros importantes no que tange ao destino final (reúso), ou seja, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), haja vista a relevância em termos operacionais destes parâmetros, estabelecidos para o destino final no reúso agrícola.

Nesta perspectiva, o sistema escolhido com base no critério ambiental é o que apresentar os melhores resultados de eficiência de remoção dos poluentes anteriormente citados. As análises físico-químicas foram feitas com frequências semanal e quinzenal, conforme recomendações do APHA 2005 (SANTOS 2013; MELO, 2013; ANDRADE, 2012). A tabela 4.3 apresenta a estruturação da classificação das alternativas conforme critério ambiental.

CLASSIFICAÇÃO	SISTEMA DE TRATAMENTO	EFICIÊNCIA MÉDIA DE REMOÇÃO (%)		
		DQO	SST	SSV
1º	ST1	DQO <sub>ST1</sub>	SST <sub>ST1</sub>	SSV <sub>ST1</sub>
2º	ST2	DQO <sub>ST2</sub>	SST <sub>ST2</sub>	SSV <sub>ST2</sub>
3º	ST3	DQO <sub>ST3</sub>	SST <sub>ST3</sub>	SSV <sub>ST3</sub>
4º	ST4	DQO <sub>ST4</sub>	SST <sub>ST4</sub>	SSV <sub>ST4</sub>
5º	ST5	DQO <sub>ST5</sub>	SST <sub>ST5</sub>	SSV <sub>ST5</sub>

ST - Opções de Sistema de Tratamento

DQO<sub>ST</sub> - Porcentagem de remoção (Demanda Química de Oxigênio) de cada sistema

SST<sub>ST</sub> - Porcentagem de remoção (Sólidos Suspensos Totais) de cada sistema

SSV<sub>ST</sub> - Porcentagem de remoção (Sólidos Suspensos Voláteis) de cada sistema

**Tabela 4.3 – Classificação das alternativas conforme critério ambiental**

Fonte: O Autor

#### 4.5.3 – A análise social

Para a análise social, considerou-se o critério qualidade sanitária do efluente, medida pela eficiência de remoção de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos, haja vista a opção do destino final do efluente tratado ser o reúso na agricultura familiar. A análise da qualidade sanitária do efluente dos sistemas de tratamento tem o intuito de assegurar ao máximo a proteção dos agricultores na colheita e manuseio da cultura irrigada com a água residuária tratada.

Desta forma infere-se que quanto maior a qualidade sanitária do efluente para reúso, maior aceitação social ele terá, em virtude da menor contaminação potencial. Assim, o sistema de tratamento com o melhor valor de eficiência sanitária também representa a melhor alternativa no aspecto social em termos de redução do risco a saúde dos agricultores, pois, o nível da qualidade sanitária alcançada pelos sistemas está diretamente ligado à minimização dos riscos a saúde dos agricultores em contato com a cultura.

Neste sentido a Tabela 4.4 apresenta os parâmetros sanitários analisados do efluente de cada sistema, a fim de estabelecer a comparação destes dados com os padrões e recomendações estabelecidos pela USEPA (USEPA, 2012) em relação à irrigação de culturas cerealíferas e forrageiras, e da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), com relação à irrigação restrita.

SISTEMA DE TRATAMENTO	ESGOTO BRUTO		PARÂMETRO EFLUENTE		log REMOVIDO	PADRÕES E RECOMENDAÇÕES			ATENDIMENTO		
	CTT (UFC/100ml)	OH (Ovo.L <sup>-1</sup> )	CTT (UFC/100ml)	OH (Ovo.L <sup>-1</sup> )	CTT (log <sub>10rem</sub> )	USEPA (2012)	WHO (2006)		(USEPA, 2012)	(WHO, 2006)	
						C.TT. (UFC/100ml)	CTT (log <sub>10rem</sub> )	O. H. (Ovo.L <sup>-1</sup> )	C.TT.	CTT	O H
ST1	X UFC/100ml	X Ovo. L <sup>-1</sup>	C.TT. <sub>ST1</sub>	O.H. <sub>ST1</sub>	- log <sub>10rem</sub> (1-Eficiência)	X UFC/100ml	X log <sub>10rem</sub>	X Ovo. L <sup>-1</sup>	√	√	Ñ
ST2			C.TT. <sub>ST2</sub>	O.H. <sub>ST2</sub>	- log <sub>10rem</sub> (1-Eficiência)						
ST3			C.TT. <sub>ST3</sub>	O.H. <sub>ST3</sub>	- log <sub>10rem</sub> (1-Eficiência)						
ST4			C.TT. <sub>ST4</sub>	O.H. <sub>ST4</sub>	- log <sub>10rem</sub> (1-Eficiência)						
ST5			C.TT. <sub>ST5</sub>	O.H. <sub>ST5</sub>	- log <sub>10rem</sub> (1-Eficiência)						
<p><b>ST</b> - Opções de Sistema de Tratamento  <b>CTT</b> - Coliformes Termotolerantes  <b>UFC</b> - Unidade Formadora de Colônia  <b>CTT<sub>ST</sub></b> - Valor de saída (Coliformes Termotolerantes) de cada sistema  <b>OH</b> - Ovos de Helmintos  <b>OH<sub>ST</sub></b> - Valor de saída (Ovos de Helmintos) de cada sistema  <b>log<sub>10rem</sub></b> - Unidades logarítmicas removidas  √ - Atende ao padrão  Ñ - Não atende ao padrão</p>											

**Tabela 4.4 – Comparativo dos parâmetros de qualidade sanitária com padrões e recomendações estabelecidos por USEPA e WHO.**

Fonte: O autor.

## 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1 - Estimativa de custos dos sistemas de tratamento e reúso.

#### 5.1.1 – Custos de implantação

Os custos de implantação foram estimados para os cinco sistemas unifamiliares de tratamento e de reúso através de orçamento sintético, a partir das quantidades e respectivos custos dos serviços. Na tabela 5.1 discrimina-se o resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de tratamento compacto (ECO 1).

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	V.TOTAL (R\$)	%	% ACUM
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	16,26	0,33	0,33
1.2	MOVIMENTO DE TERRA	1.127,45	23,12	23,45
1.3	FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	513,30	10,52	33,97
1.4	SERVIÇOS ESPECIAIS	1.893,33	38,82	72,80
1.5	REATOR INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS E MONTAGEM	987,31	20,24	93,04
1.6	POÇOS E CAIXAS	293,87	6,03	99,06
1.7	SERVIÇOS DIVERSOS	45,64	0,94	100,00
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>4.877,16</b>		

**Tabela 5.1 – Resumo do orçamento sintético de custo de implantação do sistema ECO 1**

Fonte: O autor.

O item mais significativo observado na tabela 5.1 quanto ao custo foi serviços especiais, representando 38,82% do custo total, o qual se refere ao fornecimento e montagem do reator em fibra de vidro. E em segundo lugar, o item relativo a movimento de terra representando 23,12% do total perfaz, juntamente com o item de montagem do reator, 61,94% do total geral dos custos de implantação.

Na avaliação de custos baseada no princípio de Pareto (SLACK *et al.*, 1996), observam-se itens de maior importância em relação ao total geral do orçamento sintético de custo de implantação do sistema ECO1, requerendo assim uma maior atenção na gestão dos mesmos, justificando a busca por técnicas e ou tecnologias alternativas de substituição de serviços ou equipamentos no orçamento, com intuito de reduzir custos.

Em casos específicos o custo do item relativo ao movimento de terra pode ser minimizado, por exemplo, em terrenos onde a cota topográfica permita a construção do reator ao nível do solo, sem a necessidade de bombeamento, descartando o serviço escavação manual, aproveitando assim o desnível do terreno.

Dados da literatura são escassos acerca do custo de implantação de sistemas descentralizados compactos, não obstante as tecnologias utilizadas serem consolidadas, as pesquisas experimentais acerca da união de dois ou três tratamentos biológicos distintos em um sistema compacto são recentes (ANDRADE *et al.*, 2012).

Dentre as tecnologias de tratamento de esgoto doméstico, o sistema mais comumente utilizado é o tanque séptico. No Brasil aproximadamente 43 milhões de pessoas são atendidas por tanques sépticos nas áreas urbanas e rurais (ANDREOLLI *et al.*, 2009).

Nos Estados Unidos cerca de 20 milhões de pessoas usam o sistema de tanque séptico convencional. Na Turquia, quase 28% dos municípios são servidos por este sistema e em Muscat na Arábia Saudita atende a 70% da população (BERNAL e RESTREPO, 2012).

Lucca *et al.* (2011), estimaram o custo de implantação de um tanque séptico com diferentes materiais de construção, para atender uma residência unifamiliar, calculando-se o sistema construído em alvenaria (R\$ 2.111,06), em concreto (R\$ 1.927,63) e com anéis de concreto (R\$ 1.699,77).

Na tabela 5.2, por sua vez, pode-se visualizar o resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de tratamento tanque séptico construído em alvenaria.

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	V.TOTAL(R\$)	%	% ACUM
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	16,93	0,36	0,36
1.2	MOVIMENTO DE TERRA	900,44	18,91	19,27
1.3	FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	907,98	19,07	38,33
1.4	PAREDES E PAINÉIS	1.233,19	25,90	64,23
1.5	REVESTIMENTO	510,05	10,71	74,94
1.6	IMPERMEABILIZAÇÃO	585,85	12,30	87,25
1.7	INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	265,80	5,58	92,83
1.8	REACTORES POÇOS E CAIXAS	293,87	6,17	99,00
1.9	SERVIÇOS DIVERSOS	47,51	1,00	100,00
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>4.761,62</b>		

**Tabela 5.2 – Resumo do orçamento sintético de custo de implantação do sistema tanque séptico**

Fonte: O autor.

O custo total do reator tanque séptico foi de R\$ 4.761,62, mostrando-se 55,67% mais caro, comparado a um sistema também construído em alvenaria (R\$ 2.111,06) estimado por Lucca *et al.* (2011), provavelmente esta diferença se deu primeiramente porque as avaliações de custo não foram feitas no mesmo ano, diferenciando em preços, e em segundo lugar, foram utilizadas diferentes tabelas de base de preço da construção civil, com variação do valor na literatura consultada, se adicionado ao custo os benefícios e despesas indiretas (BDI).

O custo com maior representatividade do orçamento do sistema tanque séptico em relação ao total geral foi do item paredes e painéis com o valor de 25,9%, representando o

principal material na construção do reator. Por ser expressivo, é interessante analisar materiais alternativos para construção do mesmo, por exemplo, pré-moldados ou fibra de vidro ou polietileno de alta densidade podem ser opções viáveis na minimização do custo total.

Avaliando-se de forma comparativa os sistemas TS e o ECO1, nota-se uma similaridade de importância entre os itens visualizados como sendo o principal material na construção dos mesmos, embora o custo de serviços especiais do reator ECO1 (R\$ 1.893,33) seja maior do que o serviço paredes e painéis do TS (R\$ 1.233,19).

O serviço fundações e estruturas é o próximo item mais significativo com 19,07% relativo ao total geral do TS, enquanto o mesmo item no orçamento de implantação do ECO1 retrata 10,52% do seu total.

Observa-se ainda que o custo do sistema tanque séptico apesar de ser menor 2,37% do que do ECO 1, é elevado na comparação de ambos, pois a estação compacta comporta três reatores distintos em um único sistema, enquanto o TS é um reator único. Ressalta-se ainda neste contexto a superioridade do ECO1 em relação ao TS em termos de eficiência global de remoção de poluentes em contrapartida ao seu custo bem próximo ao do TS.

Outros tipos de reatores anaeróbios de simples operação e extremamente econômicos, amplamente utilizados no Brasil são, o UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) e o Filtro Anaeróbio (JORDÃO e PESSOA, 2005). O sistema UASB convencional possui defletores de gases, e separadores de fases internos.

Melo (2013), operando e monitorando reator do tipo UASB convencional seguido de FAN de fluxo ascendente, em suas conclusões atestou o bom desempenho desta associação, com possibilidade de utilização do efluente na agricultura.

A tabela 5.3 apresenta o resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de tratamento UASB convencional seguido de FAN.

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	V.TOTAL (R\$)	%	% ACUM
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	18,03	0,31	0,31
1.2	MOVIMENTO DE TERRA	1.265,90	21,59	21,90
1.3	FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	89,91	1,53	23,43
1.4	SERVIÇOS ESPECIAIS	3.254,86	55,52	78,96
1.5	INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	871,74	14,87	93,83
1.6	REATORES, POÇOS E CAIXAS	293,87	5,01	98,84
1.7	SERVIÇOS COMPLEMENTARES	17,51	0,30	99,14
1.8	SERVIÇOS DIVERSOS	50,60	0,86	100,00
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>5.862,42</b>		

**Tabela 5.3 – Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema UASB C seguido de FAN**

Fonte: O autor.

O custo da associação reator UASB Convencional seguido de filtro anaeróbio é maior em 18,78% e 16,81%, na comparação com os sistemas TS e ECO1 respectivamente, sendo seu o item mais caro o de serviços especiais (R\$ 3.254,86), o qual abrangeu 55,52% do custo total. Neste serviço está incluso o valor do fornecimento e montagem do reator em fibra de vidro.

Se comparados os valores relativos ao item serviços especiais entre os sistemas UASB C seguido de FAN, ECO 1 e TS, observa-se que aquele é maior 41,83% do que o ECO1, embora possua também em seu projeto um reator UASB e um FAN, e 62,11% mais caro do que o TS, evidenciando este item como uma das causas do maior custo de implantação do reator, além do maior custo do UASB C seguido de FAN em relação aos demais.

Já o item relativo a movimento de terra, segundo item de maior valor do orçamento de implantação do reator UASB C seguido de FAN, pode ser minimizado caso o terreno apresente desnível suficiente, a ponto dos reatores serem construído no nível do terreno ou semienterrado, dispensando ou minimizando os serviços de escavação e reaterro.

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas ao longo dos anos para superar as desvantagens dos sistemas anaeróbio-aeróbios. Sistemas anaeróbio-aeróbio usando biorreatores de alta taxa (tais como de fluxo ascendente com manta de lodo anaeróbio (UASB), filtro biológico, reator de leito fluidizado, biorreator de membrana) são adotados com o objetivo de proporcionar um processo de tratamento tanto tecnológica quanto economicamente mais apropriado, com o duplo objetivo de recuperação de recursos, e cumprimento da legislação vigente para a descarga de efluentes (CHAN *et al.*, 2009).

Uma tecnologia muito utilizada para polir efluentes de sistemas anaeróbios é o filtro de areia de fluxo intermitente, por produzir efluente de alta qualidade, removendo organismos patogênicos, além das características de simplicidade operacional, técnica, e baixo custo de implantação (MELO, 2013; LUNA *et al.*, 2013).

Embora os sistemas anaeróbio-aeróbios sejam tidos como de baixo custo de implantação, analisando a tabela 5.4 avalia-se a associação do reator UASB Convencional seguido de filtro de areia de fluxo intermitente como o de maior custo quando comparado aos outros sistemas avaliados, sendo mais caro respectivamente, 64,06%, 30,69% e 29% do que os reatores de menores custos UASB Y, TS, e ECO1.

A tabela 5.4 apresenta o resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de tratamento UASB convencional seguido de FaFint.

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	V.TOTAL (R\$)	%	% ACUM
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	32,38	0,47	0,47
1.2	MOVIMENTO DE TERRA	1.442,66	21,00	21,47
1.3	FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	928,63	13,52	34,99
1.4	SERVIÇOS ESPECIAIS	2.665,39	38,80	73,79
1.5	INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	1.196,91	17,42	91,21
1.6	REATORES, POÇOS E CAIXAS	293,87	4,28	95,49
1.7	RESERVATÓRIOS	82,25	1,20	96,69
1.8	SERVIÇOS COMPLEMENTARES	136,56	1,99	98,68
1.9	SERVIÇOS DIVERSOS	90,90	1,32	100,00
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>6.869,55</b>		

**Tabela 5.4 – Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema UASB C seguido de FaFint**  
Fonte: O autor.

Observa-se, mais uma vez que o item serviços especiais se mostrou significativo no orçamento de implantação do UASB C seguido de FaFint, no valor de R\$ 2.665, 39; quando comparado ao UASB Y, um sistema de menor custo, o mesmo item no orçamento de implantação teve valor de R\$ 728, 82, diferindo um do outro em 72,66%.

Os itens serviços especiais (38,80%), movimento de terra (21%), e instalações hidro sanitárias (17,42%) são os principais itens de maior representatividade no orçamento, sendo estas estimativas a causa do sistema apresentar o maior custo. Quando se comparam os custos destes mesmos itens com os do reator UASB C seguido de FAN, percebe-se no orçamento de implantação do sistema estes mesmos itens como os de maior valor em relação ao total.

Outra versão do reator UASB apresenta separador de fases do tipo braço ‘Y’. Santos (2013), monitorando um reator deste tipo, constatou uma eficiência razoável de remoção para DQO, SST e SSV, porem baixa eficiência em remoção de organismos patogênicos.

No entanto apesar do reator UASB sem pós-tratamento não produzir um efluente com DBO dentro dos padrões requeridos pelos órgãos ambientais para lançamento em corpo receptor, estes sistemas tem tido grande aplicabilidade, demonstrando eficiência satisfatória a um baixo custo (ALEM SOBRINHO E JORDÃO, 2001).

Na tabela 5.5 visualiza-se o resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de tratamento UASB Y.

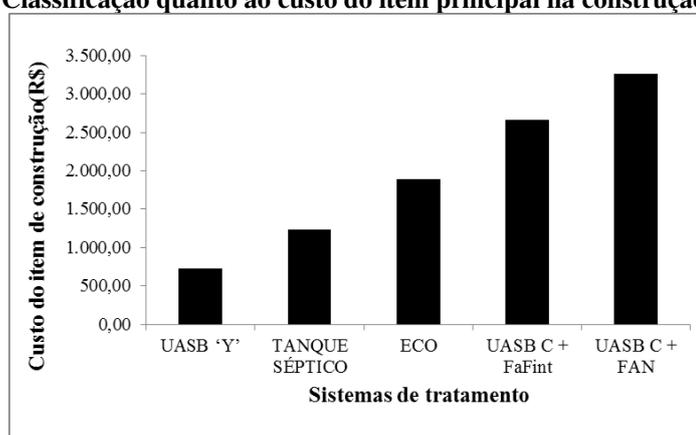
CUSTO DE IMPLANTAÇÃO				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	V.TOTAL (R\$)	%	% ACUM
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	10,04	0,41	0,41
1.2	MOVIMENTO DE TERRA	653,34	26,46	26,87
1.3	FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	222,67	9,02	35,89
1.4	SERVIÇOS ESPECIAIS	728,82	29,52	65,40
1.5	INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	532,20	21,55	86,96
1.6	REATORES, POÇOS E CAIXAS	293,87	11,90	98,86
1.7	SERVIÇOS DIVERSOS	28,17	1,14	100,00
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>2.469,11</b>		

**Tabela 5.5 – Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema UASB Y**  
Fonte: O autor.

O reator UASB “Y” obteve o menor custo de implantação entre os sistemas avaliados, diferindo em 64,06% em relação aos custos do reator mais caro (UASB C+FaFint), e em 48,15% em relação ao TS o qual apresentou-se como o segundo sistema de menor custo estimado de implantação. Seu item de maior importância no que tange ao total geral também foi o de serviços especiais representando 29,52% do custo total.

Observou-se em todas as planilhas orçamentárias o item fornecimento, montagem e/ou construção do reator como o mais representativo para todos os orçamentos de implantação dos sistemas de tratamento em termos de custo. Em se tratando de gestão de custos, este seria o item a ser priorizado numa intervenção para redução do valor total do orçamento. A figura 5.1 apresenta a classificação quanto ao custo deste item na construção dos reatores.

**Figura 5.1: Classificação quanto ao custo do item principal na construção dos reatores**



Fonte: O autor.

Na figura 5.1 observa-se claramente o reator UASB Y como o de menor custo, considerando este item; em segundo lugar o sistema TS, e com o maior custo de serviços especiais ficou o sistema UASB C seguido de FAN.

Destaca-se a estimativa do custo de implantação como um importante ponto de influência no processo de decisão ou escolha do sistema (Von SPERLING, 2005; LEONETI *et al.*, 2009), que venha a minimizar o custo total, pois como pôde ser observado nem sempre sistemas associados ou compactos tem um custo tão mais elevado em relação a um sistema único.

Neste contexto, poder-se-ia questionar, a respeito da economia de escala na comparação de sistemas descentralizados unifamiliares e multifamiliares, ou seja, qual destas duas abordagens de gestão de águas residuárias seria mais viável economicamente no contexto do assentamento quando se consideram os custos de implantação.

Enquanto sistemas de tratamento de esgoto descentralizados unifamiliares atendem a apenas uma residência por sistema, os multifamiliares podem servir a um maior número de casas afluindo à mesma estação de tratamento, necessitando de rede de menor extensão comparada às de sistemas centralizados (MASSOUD *et al.*, 2009).

Desta forma, é importante comparar as abordagens descentralizadas unifamiliar e multifamiliar, no intuito de verificar se de fato o sistema unifamiliar mostra-se mais acessível economicamente, no contexto do assentamento Santa Cruz. Na tabela 5.6 é feita a comparação de custos entre as abordagens para 5, 20 e 36 casas.

SISTEMA DE TRATAMENTO	SISTEMA UNIFAMILIAR (CUSTO DE IMPLANTAÇÃO)				SISTEMA MULTIFAMILIAR (CUSTO DE IMPLANTAÇÃO)		
	1 CASA (R\$)	5 CASAS (R\$)	10 CASAS (R\$)	36 CASAS (R\$)	*5 CASAS (R\$)	*10 CASAS (R\$)	*36 CASAS (R\$)
UASB 'Y'	2.469,11	12.345,55	24.691,10	88.887,96			
TANQUE SÉPTICO	4.761,62	23.808,10	47.616,20	171.418,32			
ECO	4.877,16	24.385,80	48.771,60	175.577,76	69.329,98	190.809,39	503.506,67
UASB C + FAN	5.862,42	29.312,10	58.624,20	211.047,12			
UASB C + FaFint	6.869,55	34.347,75	68.695,50	247.303,80			

\* Oliveira Jr. (2014)

**Tabela 5.6 – Comparativo de custos de implantação dos sistemas de tratamento de esgoto nas abordagens uni e multifamiliar**

Fonte: O autor.

A tabela 5.6 permite uma avaliação comparativa entre os custos de implantação de sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto e multifamiliares. Percebe-se o custo de implantação do sistema multifamiliar para cinco casas (R\$ 69.329, 98) bem mais elevado do que os custos de implantação do sistema unifamiliar UASB Y em cinco casas (R\$ 12.345,55), constatando-se uma diferença de 82,19% entre o sistema multifamiliar e o unifamiliar.

Avaliando-se ainda simultaneamente os custos do reator unifamiliar UASB Y para dez (R\$ 24.691,10) e 36 casas (R\$ 88.887,96) e do multifamiliar para dez (R\$ 190.809, 39) e 36 casas (R\$ 503.506,67), verificou-se que os custos do sistema multifamiliar são maiores respectivamente 87,06% e 82,35% do que os dos sistemas unifamiliares para os respectivos números de casas.

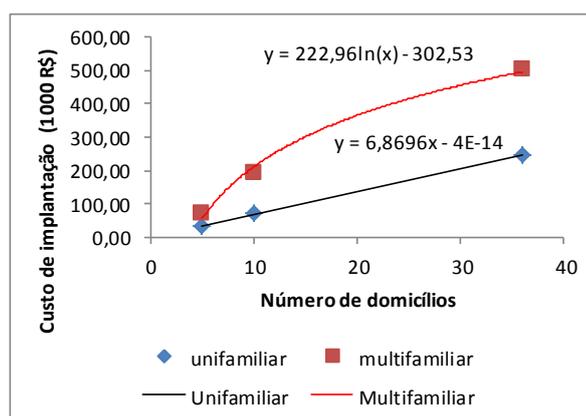
Observa-se também na tabela 5.6, que mesmo os custos para cinco casas do sistema unifamiliar sendo mais elevado para o UASB C + FaFint (R\$ 34.347,35), ainda é inferior aos custos do sistema multifamiliar de configuração semelhante para cinco casas (R\$ 69.329, 98), isto é, 50,46% mais caro.

Semelhantemente quando considerados os custos do UASB C + FaFint para dez casas (R\$ 68.695,50), e 36 casas (R\$ 247.303,80), e os custos de implantação do sistema multifamiliar para dez casas (R\$ 190.809,39), e 36 casas (R\$ 503.506,67), percebe-se a diferença expressiva de 64% entre as abordagens para 10 casas e de 50,88% para 36 casas, indicando a abordagem unifamiliar economicamente mais viável no contexto do assentamento Santa Cruz.

Esta diferença de custos entre as abordagens unifamiliar e multifamiliar deve-se ao incremento no custo do sistema de esgotamento sanitário pela adição de rede coletora dos esgotos, uma vez que a distância entre as residências no assentamento é considerável, requerendo maior extensão de rede de coleta e de ligação predial. A utilização do sistema multifamiliar é mais indicada, portanto, para áreas rurais e periurbanas mais densamente povoadas (MASSOUD *et al.*, 2009), enquanto em sistemas unifamiliares o custo com rede inexistente, tornando-se uma vantagem contributiva quanto à seleção deste tipo de abordagem de tratamento.

A figura 5.2 apresenta de forma resumida a variação dos custos para as abordagens unifamiliar e multifamiliar com o aumento do número de domicílios.

**Figura 5.2: Relação entre o aumento do número de casas com o aumento dos custos de implantação dos sistemas de tratamento de esgoto nas abordagens uni e multifamiliar no assentamento Santa Cruz.**



Fonte: O autor.

Na figura 5.2 constata-se que na proporção do aumento do número de domicílios atendidos, mais elevado se torna o custo para as abordagens unifamiliar e multifamiliar. Entretanto observando a figura nota-se o incremento maior nos custos dos sistemas multifamiliares, para um mesmo aumento no número de domicílios atendidos para as duas abordagens.

Portanto no contexto do assentamento Santa Cruz, caso se venha a optar pela implantação de sistemas descentralizados multifamiliares para 5, 10 ou 36 casas não haverá economia de escala, especialmente para um número de domicílios superior a 10 casas, e sim incremento crescente nos custos, demonstrando claramente que sistemas descentralizados unifamiliares são mais viáveis economicamente apresentando menor custo de implantação neste contexto (OLIVEIRA JR., 2014).

A implantação de tecnologias individuais e de baixo custo em áreas de baixa densidade populacional possibilitaria uma melhor distribuição do investimento para universalizar o saneamento no contexto de áreas rurais e periurbanas brasileiras (GALVÃO JR., 2009).

Fatores econômicos são especialmente importantes quando se estuda e avalia a viabilidade de um novo sistema para o uso das águas residuárias, cuja análise desempenha um importante papel no encorajamento ao uso seguro destas águas (WHO, 2006).

Entre os aspectos influenciadores na escolha do método de irrigação com água residuária, os mais comuns são: o custo, a eficiência média no uso da água, a necessidade de nivelamento preciso do terreno, e a produtividade agrícola (BARROSO e WOLFF, 2011).

Na tabela 5.7 apresenta-se o resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de reúso unifamiliar.

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	V.TOTAL(R\$)	%	% ACUM
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	3.942,64	7,12	7,12
1.2	MOVIMENTO DE TERRA	3.575,32	6,46	13,58
1.3	FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	492,10	0,89	14,47
1.4	PAREDES E PAINEIS	377,05	0,68	15,15
1.5	REVESTIMENTO	155,95	0,28	15,43
1.6	IMPERMEABILIZAÇÃO	192,00	0,35	15,78
1.7	INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	22.396,66	40,46	56,24
1.8	REATORES POÇOS E CAIXAS	13.160,29	23,77	80,01
1.9	SERVIÇOS DIVERSOS	11.067,68	19,99	100,00
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>55.359,69</b>		

**Tabela 5.7– Resumo do orçamento de custo de implantação do sistema de reúso unifamiliar**

Fonte: O autor.

O custo de implantação do sistema de reúso unifamiliar cujo uso potencial seria a agricultura de subsistência, foi de R\$ 55.359,69, com o item instalações hidro-sanitárias sendo o mais caro do orçamento (40,46%), referente à aquisição e instalação de tubos, conexões, e peças especiais.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) discorrendo sobre a irrigação por gotejamento com água residuária pondera que, embora o custo inicial seja elevado, são acrescidos benefícios de proteção à saúde, minimização da necessidade de tratamento de

águas residuárias, redução do uso de água, e maior produtividade nas culturas, podendo estes fatores superar os custos.

Barroso e Wolff (2011), ressaltaram a viabilidade técnica e econômica como condições necessárias para implantação de um sistema de reúso, realçando também os impactos positivos em termos sociais e econômicos da sua implantação.

### 5.1.2 - Custos de operação e manutenção

Na estimativa dos custos de operação consideraram-se a mão-de-obra e materiais necessários à operação, enquanto os custos de manutenção refletem as despesas necessárias para manter o sistema em condições de bom funcionamento, prolongando sua vida útil.

Na tabela 5.8 pode-se visualizar o resumo dos orçamentos de operação e manutenção do sistema compacto ECO 1.

ITEM	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	TOTAL (R\$)	TOTAL VP (R\$)
1	Meio Suporte colmatado	255,00	
2	Desobstruções de tubulações	144,50	
3	Substituição do meio suporte colmatado	165,21	-
	Remoção e substituição de instalações		
4	hidrossanitárias	7,73	
5	Inspeção periódica	54,00	
<b>TOTAL ECO 1</b>		<b>626,44</b>	<b>4.614,21</b>

**Tabela 5.8– Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema ECO 1**

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

No resumo do orçamento percebe-se o item 1 - meio suporte colmatado - como o de maior valor, representando 40,71% do total geral. Este item diz respeito à remoção, raspagem, transporte e disposição do material removido. Sendo o sistema compacto ECO1, composto de três reatores, foram estimadas atividades de operação e manutenção anuais para os três,

Os serviços de operação e manutenção dos reatores são anuais, e se estendem ao longo do ciclo de vida da unidade de tratamento, constituindo-se, portanto em um aspecto de relevância a ser considerado. Baixos custos de operação e manutenção são características do sistema de tratamento TS, além da sua simplicidade de operação (MANNICCH *et al.*, 2009).

Na tabela 5.9 exibe-se o resumo do orçamento de manutenção e operação do sistema de tratamento tanque séptico.

ITEM	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	TOTAL (R\$)	TOTAL VP (R\$)
1	Desobstruções de tubulações	173,40	-
2	Remoção de lodo de excesso	100,00	
3	Transporte do lodo de excesso	20,18	
4	Inspeção periódica	54,00	
<b>TOTAL TANQUESÉPTICO</b>		<b>347,58</b>	<b>2.560,20</b>

**Tabela 5.9 - Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema tanque séptico**

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

O custo total das atividades de manutenção e operação do TS foi de R\$ 2.560,20, visto na tabela 5.9. Avaliando-se comparativamente o custo total do sistema ECO1 com o do tanque séptico, conclui-se que este é menor, diferindo do ECO1 em 44,51%.

No que tange aos serviços de maior custo em relação ao total geral, distinguem-se os itens desobstrução de tubulações representando 49,89% do total, e remoção de lodo de excesso (28,77%). Embora o item remoção de lodo se sobressaia, a produção de lodo em sistemas anaeróbios é baixa (Von SPERLING, 2005), tornando-se uma vantagem econômica frente aos sistemas aeróbios.

Entre os sistemas avaliados evidencia-se o tanque séptico como a segunda opção de menor custo concernente às atividades de manutenção e operação, obtendo um valor total de R\$ 347,58 ao ano. O sistema de tratamento TS, não necessita de muitas intervenções para seu bom funcionamento, tornando-se economicamente vantajoso, além de não necessitar de limpeza anual, recomendando-se, entretanto a limpeza em intervalos de dois anos, obtendo como benefício a retirada de lodo mais estabilizado (BRASIL, 2014b).

Os reatores UASB podem ser utilizados como uma opção de substituição do tanque séptico, em virtude das características de simplicidade operacional e construtiva, a um baixo custo, além de produção de lodo já estabilizado (SANTOS, 2013). Na tabela 5.10 encontra-se o resumo do orçamento de manutenção e operação do sistema de tratamento UASB Y.

ITEM	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	TOTAL (R\$)	TOTAL VP (R\$)
1	Desobstruções de tubulações	260,10	-
	Remoção e substituição de instalações		
2	hidrossanitárias	7,73	
3	Inspeção periódica	54,00	
<b>TOTAL UASB Y</b>		<b>321,83</b>	<b>2.370,53</b>

**Tabela 5.10– Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB Y**

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

O sistema UASB Y, obteve o menor custo total (R\$ 2.370,53) das opções avaliadas, concernente aos serviços de operação e manutenção. A diferença percentual entre o UASB Y e o TS, ambos sistemas anaeróbios foi de 7,41%, e entre o UASB Y e o ECO 1 de 48,63%, isto é, diferindo os custos do UASB Y em quase metade do valor para o ECO 1.

O reator UASB demonstra boa capacidade de retenção de sólidos, característica importante no auxílio da redução da probabilidade de entupimento das tubulações (SANTOS, 2013). No entanto no orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB Y o item desobstruções de tubulações representou 80,82% do total geral, sendo o item de maior valor no que se refere ao custo total.

Contudo os reatores anaeróbios do tipo UASB apresentam geralmente características como: simplicidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção, e baixa produção de lodo. (Von SPERLING, 2005; RAJINIKANTH *et al.*, 2008). Como se pode observar nos resultados, de fato o reator UASB Y obteve os menores custos de implantação, operação e manutenção.

Embora o reator UASB se mostre como uma alternativa viável para o tratamento de águas residuárias, no quesito eficiência global do sistema, deixa a desejar, não atendendo a solicitação dos órgãos ambientais para lançamento, e por isso apresentam necessidade de pós-tratamento (GIUSTINA *et al.*, 2010).

Assim, processos biológicos associando reatores anaeróbio-aeróbios tem sido uma alternativa, tendo como vantagens: redução de gastos com manutenção, em virtude da menor produção de lodo, além alcançar uma boa eficiência (OLIVEIRA, 2004).

Na tabela 5.11 apresenta-se o resumo do orçamento de manutenção e operação do sistema de tratamento UASB convencional seguido de filtro de areia intermitente (FaFint).

ITEM	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	TOTAL (R\$)	TOTAL VP (R\$)
1	Desobstruções de tubulações	432,30	
2	Remoção e substituição de instalações hidrossanitárias	7,73	
3	Inspeção periódica	54,00	
4	Remoção, transporte, disposição de meio suporte colmatado (areia e brita)	221,36	-
5	Substituição do meio suporte colmatado	165,21	
6	Remoção e substituição de instalações hidrossanitárias	7,73	
<b>TOTAL UASB C + FaFint</b>		<b>888,33</b>	<b>6.543,24</b>

Tabela 5.11– Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB C + FaFint  
Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

Observa-se na tabela 5.11 que os itens mais significativos em relação ao total geral são: desobstruções de tubulações 48,66% e remoção, transporte, disposição de meio suporte colmatado representando 24,92%, perfazendo um total de 73,58% do custo geral das atividades de manutenção e operação do sistema.

Nota-se também que o custo total dos serviços de operação e manutenção do sistema UASB convencional seguido de filtro de areia intermitente, é o maior entre os avaliados, devendo-se ao fato do sistema ser associado, somando-se, portanto os custos de dois reatores diferentes.

Entretanto, quando se comparam os custos de operação e manutenção do UASB C seguido de FaFint (R\$ 6.543,24), aos do sistema compacto ECO1(R\$ 4.614,21), o qual em sua estrutura comporta três reatores distintos, logo, deveria apresentar maior custo, percebe-se o inverso, pois, o ECO1 tem menor custo, com diferença de 29,48% do UASB C+FaFint.

Outra tecnologia associada, largamente utilizada é o reator UASB seguido de filtro anaeróbio (RAJINIKANTH *et al.*, 2008). Todavia, a escolha deste tipo de sistemas requer atenção por parte dos tomadores de decisão, quando se avaliam os custos de operação e manutenção, a ver se o desempenho dos reatores justifica o investimento de capital adicional e as despesas operacionais requeridas por eles.

Na tabela 5.12 pode-se visualizar o resumo do orçamento de manutenção e operação do sistema de tratamento UASB convencional seguido de filtro anaeróbio (FAN).

ITEM	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	TOTAL (R\$)	TOTAL VP (R\$)
1	Desobstruções de tubulações	432,30	-
	Remoção e substituição de instalações		
2	hidrossanitárias	15,46	
3	Inspeção periódica	54,00	
4	Remoção de material colmatado (brita)	27,00	
5	Transporte material removido	140,36	
6	Substituição do meio suporte colmatado	162,00	
<b>TOTAL UASB C + FAN</b>		<b>831,12</b>	<b>6.121,85</b>

Tabela 5.12– Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema UASB C + FAN

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

Os itens desobstruções de tubulações e substituição de meio suporte colmatado sobressaíram-se no orçamento do sistema UASB convencional seguido de FAN, os quais somados perfazem 71,51% do custo total.

Constata-se ainda na tabela 5.12 que o sistema UASB convencional seguido de filtro anaeróbio é o segundo com maior custo dos avaliados referente aos serviços de operação e manutenção, diferindo do UASB convencional seguido de FaFint em apenas 6,44%, revelando os custos de manutenção de sistemas aeróbios como maiores do que de anaeróbios (OLIVEIRA, 2004).

No entanto, reatores aeróbios alcançam um alto grau de eficiência de tratamento de efluente, enquanto em sistemas anaeróbios a eficiência é moderada, obtendo, contudo progressos no domínio da recuperação e utilização de recursos (CHAN *et al.*, 2009), tornando-se, portanto, mais vantajoso se o destino final for a reutilização do efluente na agricultura.

Avaliando-se as tabelas anteriores, constata-se o item desobstruções de tubulações como o mais significativo nos orçamentos de custo de operação e manutenção dos reatores: TS (49,89%), UASB Y (80,82%), UASB C+FaFint (48,66%) e UASB C+FAN (48%). O valor deste item deve-se ao custo da mão de obra relativo à inspeção anual.

A diferença de custos de operação e manutenção é significativa entre os sistemas de tratamento avaliados. Por exemplo, o reator de menor custo UASB Y, diferiu em 63,77% para menos, do reator de maior custo UASB C+FaFint, realçando a importância destas estimativas para a efetiva escolha do melhor sistema no aspecto econômico, evidenciando ainda a necessidade de estudos deste tipo para cada proposta de tratamento, em diferentes contextos.

Os custos de operação e manutenção de sistemas de reúso dependem do método de irrigação escolhido, pois estes métodos determinarão a necessidade do uso de energia, do tipo de materiais e equipamentos a serem utilizados, dentre outras. Por exemplo, a irrigação por inundação caracteriza-se como de baixo custo, porém a subsuperficial ou localizada tem custos elevados e requer maiores cuidados quanto a entupimentos (BARROSO e WOLFF, 2011), demandando assim mais serviços de manutenção.

Na tabela 5.13 pode-se visualizar o resumo do orçamento de manutenção e operação do sistema de reúso.

O custo dos serviços de operação e manutenção do sistema de reúso unifamiliar foi de (R\$ 4.499,39), cujo item limpeza do poço de sucção se mostrou o mais oneroso do orçamento representando 70,72% do total, o qual se referente ao custo total da inspeção trimestral, relativo à limpeza e desobstrução no poço de sucção.

ITEM	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	TOTAL (R\$)	TOTAL VP (R\$)
1	Energia elétrica anual	57,23	
2	Limpeza do poço de sucção	432,00	
3	Transporte e disposição final de material do poço de sucção	80,72	-
4	Substituição e/ou conserto de conjunto motobomba	27,25	
5	Remoção e substituição de instalações hidrossanitárias	13,65	
<b>TOTAL SISTEMA DE REUSO</b>		<b>610,85</b>	<b>4.499,39</b>

Tabela 5.13 - Resumo do orçamento de custos de operação e manutenção do sistema de reúso

Fonte: Oliveira Jr. (2014) Adaptado

Entre as vantagens da irrigação subsuperficial estão: a alta eficiência de aplicação de água, facilidade de operação e a possibilidade de manter um bom controle de umidade e da aeração do solo. Entretanto como principal desvantagem cita-se o possível entupimento das tubulações de distribuição por partículas minerais ou orgânicas (MOTA et al., 2007). Desse modo a eficiência na remoção de sólidos e matéria orgânica do sistema de tratamento do qual serão reaproveitadas as águas residuárias, assume vital importância neste sentido.

## 5.2 - Análise econômica dos sistemas.

A análise econômica possuiu caráter simplificado detendo-se à comparação de custos entre os sistemas. O objetivo desta análise foi auxiliar a tomada de decisão de gestores, engenheiros e profissionais da área de saneamento acerca do melhor sistema de tratamento a ser implantado considerando o aspecto custo total.

O custo total é composto pelas parcelas de implantação (pontual no tempo), operação e manutenção (distribuídos no tempo), e podem variar de acordo com o tipo de sistema de tratamento, características e quantidade do efluente a ser tratado, condições locais e custos de mão de obra de cada região. A abordagem compreendida pela estimativa de custo é uma ferramenta simples da engenharia econômica utilizada neste contexto para obter dados comparativos entre alternativas de tratamento (Von SPERLING, 2005).

Lucca *et al.* (2011), utilizaram a metodologia de levantamento de custos totais de unidades de tratamento de esgoto, com o objetivo de comparar e escolher baseados nestes custos qual seria a melhor alternativa de tratamento.

Contudo há uma grande disparidade de custos entre os sistemas de tratamento construídos em diferentes contextos, dificultando a comparação entre estes sistemas, devido, a

peculiaridades do processo de tratamento, de cunho econômico como, inflação, moeda nacional, custos financeiros (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Os custos anuais referentes à operação e manutenção dos sistemas foram trazidos a valor presente a uma taxa de desconto de  $12\%.\text{ano}^{-1}$  recomendada pelo BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento), em um horizonte de projeto de 20 anos.

A tabela 5.14 apresenta o custo total dos sistemas classificando as alternativas de sistemas de tratamento de esgoto de forma crescente e demonstrando o custo por metro cúbico tratado de esgoto.

CLASSIFICAÇÃO	SISTEMA DE TRATAMENTO	CUSTOS A VALOR PRESENTE (R\$)				CT/m <sup>3</sup>
		IMPLANTAÇÃO (C <sub>imp</sub> )	OPERAÇÃO (C <sub>op</sub> )	MANUTENÇÃO (C <sub>man</sub> )	CUSTO TOTAL (CT)	
1º	UASB 'Y'	2.469,11	1.915,84	454,69	4.839,64	17,97
2º	TANQUE SÉPTICO	4.761,62	2.162,44	397,75	7.321,81	33,96
3º	ECO	4.877,16	2.942,63	1.671,59	9.491,38	35,47
4º	UASB C + FAN	5.862,42	4.416,96	1.704,88	11.984,26	42,84
5º	UASB C + FaFint	6.869,55	4.814,72	1.728,53	13.412,80	49,98

Valores não corrigidos pela inflação

C<sub>imp</sub> - Custo de Implantação (R\$)

C<sub>op</sub> - Custo de Operação (R\$)

C<sub>man</sub> - Custo de Manutenção (R\$)

CT - Custo Total de cada sistema

**Tabela 5.14 – Classificação das alternativas conforme critério econômico**

Fonte: O Autor

Na tabela 5.14, observa-se que o sistema de tratamento de menor custo total foi o UASB configuração braço Y, obtendo os menores valores referentes às parcelas avaliadas, perfazendo um custo de R\$ 4.839,64. Comparando-se o valor total do UASB Y com dos outros sistemas tem-se a diferença de: 33,90% em relação ao TS, 49,01% do ECO1, 59,62% do UASB C+FAN e 63,92% do UASB C+FaFint, tornando-o, portanto, a melhor opção em termos de custo total.

Porém, apesar do custo total do sistema de tratamento UASB Y ser o menor quando comparado ao TS percebe-se, para a parcela de manutenção separadamente, que o tanque séptico obteve o menor custo, diferindo em 12,52% do UASB Y.

A associação anaeróbia-aeróbia UASB convencional seguido de FaFint, mostrou-se como alternativa de maior custo total (R\$ 13.412,80) em relação as opções avaliadas, diferindo do sistema anaeróbio UASB Y, opção de menor custo total (R\$ 4.839,64), em 63,92%. Esta diferença pode ser explicada pelo fato do sistema UASB C+FaFint somar custos de dois reatores diferentes.

Considerando-se o custo por metro cúbico tratado, o melhor sistema (UASB Y), conforme critério econômico estabelecido (menor custo) obteve o valor de R\$ 18,00m<sup>-3</sup>, enquanto que o de maior custo (UASB C+FaFint) foi de R\$ 50,00m<sup>-3</sup>. Assim, em se optando pelo sistema de menor custo, pagar-se-ia 64,05% menos pelo metro cúbico tratado.

Na tabela 5.15 podem-se visualizar os custos totais dos sistemas de tratamento somados aos custos totais estimados de um sistema de reúso.

CLASSIFICAÇÃO	SISTEMA DE TRATAMENTO	CUSTOS A VALOR PRESENTE (R\$)		
		CUSTO TOTAL (CT)	CTRS	CT + CTRS
1º	UASB 'Y'	4.839,64	59.859,38	64.698,72
2º	TANQUE SÉPTICO	7.321,81		67.180,89
3º	ECO	9.491,38		69.350,46
4º	UASB C + FAN	11.984,26		71.843,34
5º	UASB C + FaFint	13.412,80		73.271,88

Valores não corrigidos pela inflação

CT - Custo Total de cada sistema de tratamento

CTRS - Custo Total do sistema de Reuso

**Tabela 5.15 – Custo total dos sistemas de tratamento somados ao de reúso**

Fonte: O Autor

O custo total do reator UASB Y adicionado ao do sistema de reúso (R\$ 64.698,72), apontam esta alternativa como a de valor mais baixo economicamente para emprego na irrigação agrícola unifamiliar no contexto do assentamento Santa Cruz.

Sugere-se, então, o sistema de tratamento descentralizado unifamiliar UASB Y como uma boa opção no interesse da universalização do saneamento em áreas periurbanas e rurais de baixa densidade populacional, especialmente em localidades onde não existam rede coletora pública ou corpo receptor próximo. Visto a NBR 7229/93 sugerir a utilização de tanque séptico para locais com estas características (ABNT, 1993), um sistema alternativo a ele, com menor custo e melhor eficiência é o reator UASB Y.

Entretanto como a opção a ser escolhida não depende apenas do custo total, embora este seja uma das dimensões de maiores implicações na decisão, principalmente em países em desenvolvimento, há que se considerarem as dimensões ambiental e social, ambas igualmente relevantes na decisão da melhor alternativa de sistema de tratamento.

### 5.3 - A análise ambiental dos sistemas

Considerando os impactos ambientais da disposição inadequada da água residuária tratada, empreendeu-se neste trabalho a realização de uma avaliação ambiental dos sistemas

anteriormente citados, tendo como critério a melhor eficiência de remoção dos parâmetros importantes para reúso atingidos pelo tratamento.

Para conservação e proteção do meio ambiente existem leis e resoluções, com o objetivo de regulamentar e/ou restringir práticas potenciais de poluição e contaminação, inclusive relativas ao reúso de efluentes na agricultura. Por exemplo, no Brasil a resolução nº 54 de 2005, expõe a prática do reúso como minimizadora dos custos associados à poluição, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Entretanto deixa a cargo dos órgãos competentes o estabelecimento de diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso direto não potável (BRASIL, 2005).

Por sua vez, a norma brasileira 13.969 de 1997, divide em quatro classes o reúso de água residuária doméstica para fins não potáveis, sendo importante no contexto do trabalho a classe quatro a qual define os parâmetros para reúso em pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através do escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual com limites para os parâmetros de concentração de coliforme termotolerante < 5000 UFC/100ml, e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/l (ABNT, 1997).

A agência de proteção ambiental americana também estabelece diretrizes para reúso de água residuária tratada no meio urbano e rural, dentre outros fins, indicando no reúso agrícola para categoria de culturas não alimentares, o uso da água recuperada para irrigação de culturas não consumidas por humanos, incluindo fibra, sementes, forragens ou irrigação de pastos e etc. (USEPA, 2012).

A qualidade da água recuperada para reúso na agricultura, na categoria de culturas não consumidas por humanos deve atender aos valores limites mais restritivos do que a norma brasileira, sendo a DBO  $\leq 30$ mg/l, Sólidos suspensos totais  $\leq 30$ mg/L, e Coliformes Termotolerantes  $\leq 200$  UFC/100ml (USEPA, 2012).

Assim, a avaliação ambiental das propostas de tratamento tem o objetivo de selecionar a alternativa com melhor eficiência de remoção dos parâmetros importantes para reúso, haja vista a relevância em termos operacionais destes parâmetros, estabelecidos para o destino final no reúso agrícola na cultura de Palma forrageira (*Opuntia Ficus indica*) (USEPA, 2012). Na tabela 5.16 visualiza-se a classificação das alternativas dos sistemas conforme o critério ambiental.

Para o critério ambiental estabelecido (melhor eficiência), a tabela 5.16 mostra o sistema compacto ECO 1 como a melhor alternativa em termos de maior eficiência das opções avaliadas, alcançando remoções de 85% de DQO, 96% de SST e 95% de SSV, e a

associação anaeróbia-aeróbia reator UASB convencional seguido de FaFint como o segundo melhor em eficiência de remoção, com amplitude de um, seis e quatro pontos percentuais para os parâmetros de DQO, SST e SSV respectivamente em relação ao ECO 1.

CLASSIFICAÇÃO	SISTEMA DE TRATAMENTO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)		
		DQO	SST	SSV
1º	ECO	85,00	96,00	95,00
2º	UASB C + FaFint	86,00	90,00	91,00
3º	UASB C + FAN	80,00	88,00	88,00
4º	UASB 'Y'	60,50	80,48	82,11
5º	TANQUE SÉPTICO	57,70	78,1	80,48

**DQO** - (Demanda Química de Oxigênio)

**SST** - (Sólidos Suspensos Totais)

**SSV** - (Sólidos Suspensos Voláteis)

**Tabela 5.16– Classificação das alternativas conforme critério ambiental**

Fonte: O Autor

Entretanto nota-se o parâmetro DQO, dos sistemas ECO 1, e UASB C+FaFint, muito semelhante nas suas respectivas porcentagens de remoção (85% e 86%). Desta forma, avaliando os mesmos sistemas em termos de semelhança de remoção, utilizando o método estatístico análise de variância fator único (ANOVA) com nível de significância de 5% (SOKAL e ROHLF, 1981), Oliveira Jr. (2014) constatou que o sistema ECO 1 e UASB C + FaFint não são significativamente diferentes em termos remoção de DQO ( $p$ -valor = 0,063).

Esta semelhança de eficiências de remoção deu-se entre outras razões, porque os sistemas possuem as mesmas configurações e sequência de tratamento anaeróbio-aeróbio, diferindo principalmente no formato construtivo, onde a estação compacta ECO 1 é composta de reator UASB, Filtro anaeróbio e aeróbio, enquanto a outra possui dois reatores separados, um UASB e um Filtro aeróbio de fluxo intermitente.

Ambos os sistemas demonstraram desempenho satisfatório na remoção de matéria orgânica e sólidos totais, sendo indicados para o tratamento de esgotos domésticos com potencial pra ser utilizado no reúso agrícola (ANDRADE, 2012; MELO, 2013), dada a baixa ou nenhuma capacidade de remoção de nutrientes dos sistemas, podendo estes ser aproveitados na cultura a ser irrigada, além da recuperação de água (SOUSA *et al.*, 2001).

Tonetti *et al.* (2012), constataram a boa eficiência obtida de filtros aeróbios utilizados no pós tratamento de efluente proveniente de reatores anaeróbios, e a sua viabilidade para o reúso na agricultura, e no que concerne a concentração de sólidos suspensos o efluente se mostrou com baixo nível de risco de entupimento do sistema de reúso.

Contudo quando são comparados os custos totais entre a estação compacta ECO 1(R\$ 9.491,38) e o sistema reator UASB C+FaFint (R\$ 13.412,80), percebe-se que a escolha da

segunda alternativa em detrimento da primeira implicaria em pagar 29,24% a mais por menos de 2% de aumento na eficiência de remoção de matéria orgânica, especialmente pelo fato do ECO 1 ter obtido melhor eficiência na remoção dos SST e SSV em relação ao UASB C+FaFint.

Quanto à concentração efluente de sólidos suspensos totais, observam-se ainda que os sistemas ECO 1 ( $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ), UASB C+FaFint ( $18 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e UASB C+FAN ( $21 \text{ mg.L}^{-1}$ ), (MELO, 2013; ANDRADE *et al.*, 2012), estão conforme as diretrizes para sólidos suspensos totais da USEPA (2012), com valor limite estabelecido  $\leq 30 \text{ mg/L}$  de sólidos suspensos no efluente, com exceção do UASB Y ( $32 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e Tanque Séptico ( $36 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (SANTOS, 2013).

Portanto, objetivando dispor o efluente tratado para o reúso agrícola, por meio de irrigação subsuperficial, é essencial que o sistema escolhido tenha a melhor eficiência possível na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos permitindo a redução da probabilidade de entupimento do sistema de reúso e a menor necessidade de manutenção periódica, e a colmatação ou comprometimento da qualidade do solo.

Logo a estação compacta ECO 1 demonstrou eficiência superior aos outros sistemas avaliados, sendo a melhor conforme critério ambiental de melhor eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos totais e voláteis sendo necessária, entretanto, uma avaliação quanto aos parâmetros indicativos de contaminação, no intuito de prover o reúso de forma segura para os trabalhadores que venham manusear a cultura irrigada.

#### 5.4 - A análise social dos sistemas

A análise social dos sistemas teve como objetivo avaliar qual dos sistemas apresentaria um efluente com menores níveis de riscos de contaminação, tendo em vista a proteção do trabalhador rural, levando em conta a disposição final no reúso agrícola, na irrigação da cultura de palma forrageira (*Opuntia Ficus indica*). Logo o sistema mais adequado será o que apresentar melhor eficiência na remoção dos parâmetros indicativos de contaminação.

Para tal avaliou-se a remoção dos parâmetros indicativos de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos das unidades de tratamento, confrontando com as diretrizes e recomendações estabelecidas para reúso na agricultura da USEPA (2012) e da organização mundial da saúde para irrigação na agricultura (WHO, 2006).

Doenças que podem ser transmitidas via irrigação com água não tratada incluem entre outras, infecções com helmintos e infecções orais, particularmente aquelas que requerem baixa dose infectiva. Como resultado, surgem preocupações relativas à saúde pública associada com estas práticas, demandando a necessidade de se introduzir uma gama de medidas preventivas a fim de mitigar os riscos à saúde – incluindo restrições sobre as culturas praticadas, a escolha de métodos de irrigação para aplicação das águas residuárias às culturas, além de controle da exposição de humanos aos resíduos – combinados com o tratamento adequado dessas águas residuárias de modo a prover medidas satisfatórias de proteção (PARKINSON E TAYLER, 2003).

Segundo Nuvolari (2011), os tipos de irrigação com menores riscos de contaminação quando utilizada a água residuária são: a subterrânea e por gotejamento. Avaliando, portanto, este aspecto do reúso, selecionou-se a técnica de irrigação sub-superficial no contexto do assentamento, por ser uma irrigação subterrânea a 20 cm da superfície do solo, apresentando menores riscos de contato com os trabalhadores que manuseiem a cultura.

No método por irrigação sub-superficial, apenas uma pequena porção do solo é molhada, permitindo, entretanto a saturação do subsolo, tendo como vantagens a elevada eficiência no uso da água e aumento da produtividade agrícola, requerendo a filtração para evitar entupimento dos orifícios (HESPANHOL, 2003).

Na tabela 5.17 visualiza-se a avaliação comparativa dos parâmetros de qualidade sanitária com os padrões estabelecidos pela USEPA (2012) e WHO (2006). Observou-se na tabela uma remoção entre 0,54 e 1,72 unidades log de CTT, demonstrando baixa eficiência de remoção dos sistemas para este parâmetro.

Em virtude das elevadas concentrações de coliformes no esgoto bruto, a eficiência do tratamento na remoção destes é essencial. Os sistemas anaeróbios normalmente demonstram baixa eficiência de remoção destes contaminantes, nas faixas de 0,52 a 1,00 unidades log de CTT (Von SPERLING, 2005). Já sistemas aeróbios utilizados como pós-tratamento de efluentes provenientes de sistemas anaeróbios apresentam eficiência de remoção de coliformes termotolerantes nas faixas de 1,10 a 3,00 unidades log (LUNA *et al.*, 2013; CALIJURI *et al.*, 2009; COLARES e SANDRI, 2013).

O sistema compacto anaeróbio-aeróbio ECO1, apresentou eficiência marginal de remoção de coliformes termotolerantes, removendo 1,72 unidades log.

Entretanto, apesar das tecnologias anaeróbias não apresentarem uma boa remoção de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos em comparação com as aeróbias, são muito empregadas em função do seu baixo custo de implantação, operação e manutenção; compactidade, nenhum consumo de energia, e boa eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos (MASSOUD *et al.*, 2009).

Em termos de custos totais o reator UASB Y (R\$ 4.839,64), obteve a melhor classificação, embora no que diz respeito ao critério de melhor eficiência de remoção de organismos indicadores de contaminação fecal tenha ficado em último lugar na classificação, enquanto a estação compacta ECO 1 (R\$ 9.491,38) apesar de estar em terceiro lugar na classificação de custos, sendo 59,62% mais cara, alcançou remoção de CTT 318,52% superior àquela do reator UASB Y.

Entretanto, a remoção da estação compacta no que diz respeito a coliformes termotolerantes não é satisfatória, com resultado marginal em torno de 1,7 unidades log. Para atender o padrão da USEPA (2012) para irrigação na agricultura o sistema deveria remover 4 unidades log.

Pode-se visualizar ainda na tabela 5.17 de acordo com as diretrizes estabelecidas pela USEPA (2012), e WHO (2006) para o parâmetro CTT, no aspecto irrigação de culturas não alimentares, nenhum dos sistemas avaliados atendeu às recomendações. Já para o parâmetro ovos de helmintos os sistemas ECO1, UASB C + FaFint, e UASB C + FAN, atenderam a recomendação de  $OH \leq 1 \text{ ovo/L}^{-1}$ , com resultado de 0, 0 e 1 ovo/L<sup>-1</sup> respectivamente, demonstrando eficiência expressiva na remoção do patógeno.

SISTEMA DE TRATAMENTO	ESGOTO BRUTO (ENTRADA)		PARÂMETRO EFLUENTE (SAÍDA)		log REMOVIDO	PADRÕES E RECOMENDAÇÕES			ATENDIMENTO		
	* CTT (UFC/100ml)	* OH (Ovo.L <sup>-1</sup> )	CTT (UFC/100ml)	OH (Ovo.L <sup>-1</sup> )	CTT (log <sub>10rem</sub> )	USEPA (2012)	WHO (2006)		(USEPA, 2012)		(WHO, 2006)
						C.TT. (UFC/100ml)	CTT (log <sub>10rem</sub> )	O. H. (Ovo.L <sup>-1</sup> )	C.TT.	C.TT.	O. H.
ECO	4,90E+06	155	9,54E+04	0	1,72	≤ 2,00E+02	4	≤ 1	X	X	√
UASB C + FaFint			9,54E+04	0	1,71				X	X	√
UASB C + FAN			2,74E+05	*1	1,25				X	X	√
UASB 'Y'			1,35E+06	*14	0,54				X	X	X
TANQUE SÉPTICO			8,84E+05	*14	0,72				X	X	X

**ST** - Opções de Sistema de Tratamento  
**CTT** - Coliformes Termotolerantes  
**UFC** - Unidade Formadora de Colônia  
**CTT<sub>ST</sub>** - Valor de saída (Coliformes Termotolerantes) de cada sistema  
**OH** - Ovos de Helmintos  
**OH<sub>ST</sub>** - Valor de saída (Ovos de Helmintos) de cada sistema  
**log<sub>10rem</sub>** - Unidades logarítmicas removidas  
√ - Atende ao padrão  
**X** - Não atende ao padrão  
\* - Oliveira Jr. et al. (2014)

**Tabela 5.17 – Comparativo dos parâmetros de qualidade sanitária com padrões e recomendações estabelecidos por USEPA e WHO**

Fonte: O autor.

Como pode ser visto na tabela 5.17 os sistemas anaeróbios UASB Y (14 ovos/L) e TS (14 ovos/L) obtiveram médias de remoção para o parâmetro ovos de helmintos acima do preconizado pela organização mundial da saúde ( $OH \leq 1$ ), não atendendo, portanto a recomendação estabelecida para irrigação restrita corroborando o pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios como condição para obtenção de melhores resultados na remoção de organismos patogênicos (LUNA *et al.*, 2013).

Todavia, embora nenhum dos sistemas avaliados tenha apresentado remoção suficiente de coliformes termotolerantes de acordo com os órgãos reguladores, a Organização Mundial da Saúde afirma que efluentes tratados em sistemas anaeróbios seguidos de irrigação subsuperficial, removem 6,5 unidades log remanescentes, podendo ser reusados em culturas alimentares (WHO, 2006), não abrangendo, entretanto a irrigação de hortaliças e frutas de ramas rastejantes (ABNT, 1997).

O sistema descentralizado de tratamento de esgoto ECO 1 atendeu à recomendação da OMS para ovos de helmintos, tendo obtido igualmente a melhor eficiência de remoção de coliformes, apesar de não atender as diretrizes preconizadas pelos órgãos reguladores para este último. Contudo sendo a irrigação subsuperficial, e assim removendo-se potencialmente mais 6,5 unidades log conforme WHO (2006), deixando o efluente livre de patógenos, avalia-se o sistema no critério social como a melhor alternativa em termos de remoção dos parâmetros sanitários.

No mesmo patamar da alternativa ECO 1 encontra-se o sistema UASB C+FaFint, o qual possui tipologia de tratamento assemelhada ao ECO 1, uma vez que constitui-se em reator anaeróbio-aeróbio. O sistema de tratamento com o pior desempenho em termos de eficiência sanitária foi o reator UASB Y.

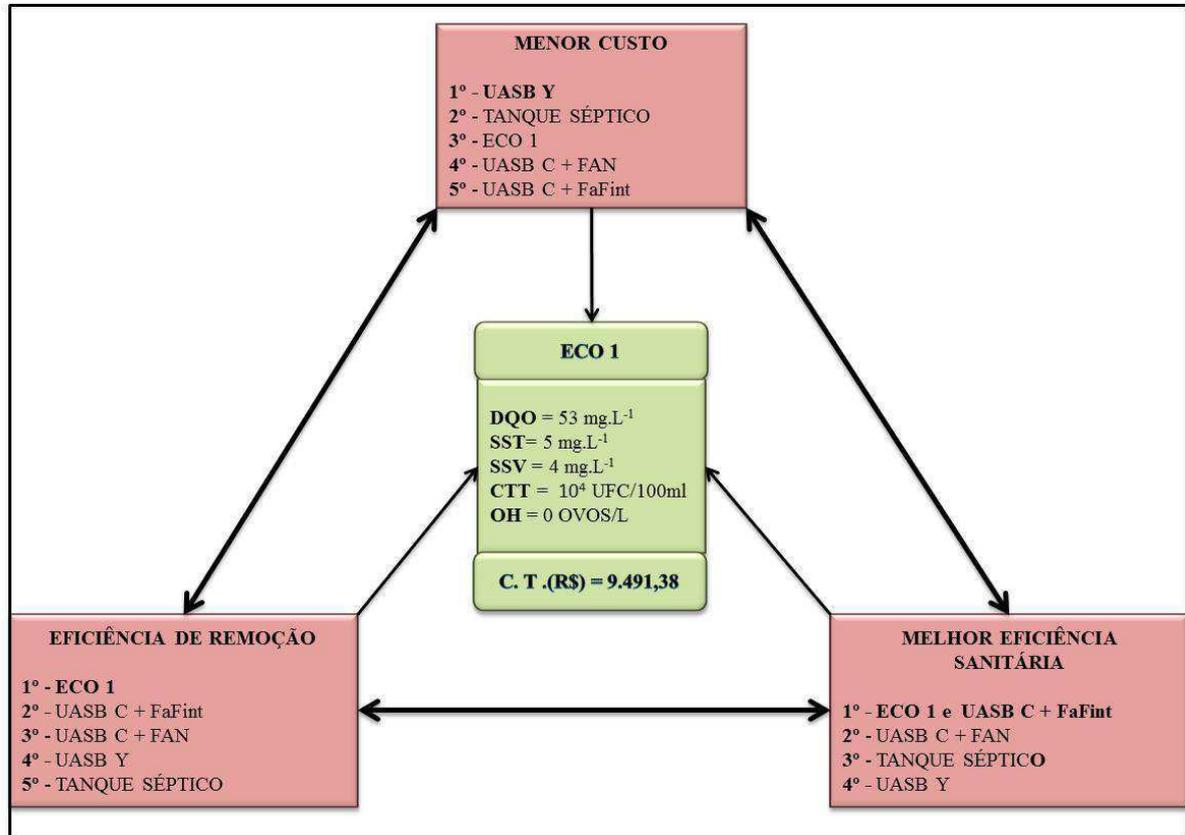
### *5.5 - A avaliação econômica, ambiental e social dos sistemas de tratamento.*

Constatando que os critérios anteriores não indicaram o mesmo sistema como o melhor nos três aspectos, provocando conflito na decisão, a escolha do melhor sistema de tratamento será baseada na melhor colocação alcançada na maioria das classificações, presentes nas avaliações econômica, ambiental e social.

Portanto serão consideradas as dimensões: social em termos de minimização dos riscos à saúde do trabalhador rural, econômica (custo mínimo), e ambiental pela melhor

qualidade físico-química do sistema a ser indicado. A figura 5.3 apresenta a análise das avaliações em forma de esquema demonstrando a alternativa selecionada.

**Figura 5.3: Esquema demonstrativo das avaliações para seleção de alternativa**



Fonte: O autor.

Na figura 5.3 apresenta-se a classificação dos sistemas conforme critérios estabelecidos. Na avaliação econômica o sistema de menor custo total foi o UASB Y, enquanto na avaliação ambiental o sistema de melhor eficiência de remoção dos parâmetros importantes para reúso foi o reator ECO 1, e igualmente, na avaliação social o sistema que melhor atendeu às recomendações para o reúso agrícola, minimizando assim o risco de contaminação foi o ECO 1, empatado com o UASB C+FaFint.

Especialmente, a integração de processos anaeróbio-aeróbio em biorreatores é capaz de aumentar a eficiência global da degradação, adicionando-se a outras vantagens como requisitos mínimos de espaço, excelente eficiência na remoção de DQO e baixo custo de capital (CHAN et al., 2009)

Entretanto quando se avalia o custo total entre a Estação Compacta (R\$ 9.491,38) e o sistema UASB C+FaFint (R\$ 13.412,80), nota-se este como o de maior custo, em último lugar

na classificação dos sistemas, enquanto aquele fica em terceiro lugar na classificação da avaliação econômica o que reforça a escolha da estação compacta também pelo critério econômico.

Andrade *et al.*(2012), avaliando a ECO 1, constataram a boa capacidade de operacionalização da estação, como também sua produção de efluente de qualidade, concluindo a aplicabilidade do sistema no tratamento descentralizado unifamiliar.

Observando-se ainda na figura 5.1 na análise econômica, as unidades de tratamento anaeróbio, UASB Y e Tanque Séptico são os primeiros da classificação, porém nas outras análises ocupam as últimas posições, motivo pelo qual nenhuma destas tecnologias foi a alternativa escolhida, pois, o objetivo não é selecionar a opção de menor custo, mas a alternativa que se enquadre entre menor custo possível e eficiência de acordo com os requisitos ambientais.

A eficiência e o custo são fatores decisivos na escolha dos sistemas de tratamento, embora estas duas variáveis possam demonstrar algum conflito, pois o sistema de menor custo não necessariamente virá a ser o de melhor eficiência, haja vista que a escolha tem de atender as exigências ambientais (LEONETI *et al.*, 2010).

Assim a baixa remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos de sistemas anaeróbios pode tornar inviável o reúso do efluente proveniente dos mesmos, salvo se aplicado um pós-tratamento (CALIJURI *et al.*, 2009), o que aumenta o seu custo final.

Por isto embora reatores anaeróbios somem diversas vantagens tais como o requerimento de menores áreas para construção, produção de lodo estabilizado, e menores custos em relação a tecnologias aeróbias, contudo não possuem uma boa remoção de patógenos (PARKINSON e TAYLER, 2003).

Considerando-se ainda apenas a avaliação econômica, vê-se que os biorreatores de pré-tratamento (UASB Y e TS) ocuparam os dois primeiros lugares na classificação, resultado este já esperado comparando-os aos biorreatores associados anaeróbio-aeróbios, pois estes são compostos por dois ou mais reatores, o que evidentemente incrementou os custos.

No entanto, nas avaliações ambiental e social se destacaram os biorreatores associados (ECO 1, UASB C+FaFint e UASB C+FAN) mostrando-se mais eficientes em termos de remoção físico-química e microbiológica, na comparação com os sistemas anaeróbios UASB Y e TS.

O sistema ECO 1 apresentou-se como a melhor alternativa a ser escolhida, mesmo não sendo o sistema de menor custo, porém com destaque na avaliação ambiental, obtendo igualmente o primeiro lugar na classificação no aspecto social, demonstrando produzir o efluente de melhor qualidade para reuso na cultura da palma forrageira.

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O reator UASB “Y” obteve o menor custo de implantação entre os sistemas avaliados, diferindo em 64,06% em relação aos custos do reator mais caro UASB convencional seguido de filtro de areia de fluxo intermitente.

Considreando a avaliação comparativa dos custos de implantação para 5, 10 e 36 casas, entre sistemas descentralizados unifamiliar e multifamiliar, constatou-se que a abordagem unifamiliar é economicamente mais viável no contexto do assentamento Santa Cruz.

Em relação aos serviços de operação e manutenção o reator UASB Y obteve o menor custo. O sistema de tratamento UASB Y foi a melhor opção em termos de custos totais, perfazendo um valor de R\$ 4.839,64. A diferença observada entre os custos totais do UASB Y e os demais sistemas foi de 33,90% em relação ao TS, 49,01% do ECO1, 59,62% do UASB C+FAN e 63,92% do UASB C + FaFint.

Considerando-se o custo por metro cúbico tratado, o melhor sistema (UASB Y), conforme critério econômico estabelecido (menor custo) obteve o valor de R\$ 18,00m<sup>-3</sup>, enquanto que o de maior custo (UASB C+FaFint) foi de R\$ 50,00m<sup>-3</sup>, quando se opta pelo sistema de menor custo, paga-se 64,05% menos pelo metro cúbico tratado.

Para o emprego do sistema de tratamento de menor custo total UASB Y no reúso unifamiliar obteve-se um custo total a valor presente de R\$ 64.698,72.

Para o critério ambiental estabelecido de melhor eficiência de remoção, o sistema compacto ECO 1 apresenta-se como a melhor alternativa entre as opções avaliadas, alcançando remoções de 85% de DQO, 96% de SST e 95% de SSV, e a associação anaeróbia-aeróbia reator UASB convencional seguido de FaFint como o segundo melhor em eficiência de remoção.

Os sistemas, ECO 1, UASB C+FaFint e UASB C+FAN apresentaram conformidade ao padrão de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais da USEPA (2012), com valor limite estabelecido de  $\leq 30\text{mg/L}$  de sólidos suspensos no efluente, com exceção do UASB Y ( $32\text{ mg.L}^{-1}$ ) e Tanque Séptico ( $36\text{ mg.L}^{-1}$ ).

Na avaliação social, o sistema compacto anaeróbio-aeróbio ECO1, apresentou a eficiência marginal de remoção de coliformes termotolerantes, removendo 1,7 unidades log.

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela USEPA (2012), e WHO (2006) para o parâmetro CTT, no aspecto irrigação de culturas não alimentares, nenhum dos sistemas

avaliados atendeu às recomendações. Já para o parâmetro ovos de helmintos os sistemas ECO1, UASB C + FaFint, e UASB C + FAN, atenderam a recomendação de  $OH \leq 1$  ovo/L<sup>-1</sup>, com resultado de 0, 0 e 1 ovo/L<sup>-1</sup> respectivamente, demonstrando eficiência expressiva na remoção do patógeno, exceções para o reator UASB Y (14 ovos/L) e TS (14 ovos/L).

Nas avaliações ambiental e social se destacaram os biorreatores associados (ECO 1, USAB C+FaFint e UASB C+FAN) mostrando-se mais eficientes em termos de remoção físico-química e microbiológica do que os sistemas anaeróbios UASB Y e TS.

As avaliações econômica, ambiental e social, tomadas simultaneamente, apresentaram o sistema ECO 1 como a melhor alternativa para possível implantação no assentamento Santa Cruz, apesar de não ter sido o sistema de menor custo, porém tendo se destacado nas avaliações ambiental e social, na produção de um efluente de melhor qualidade para o reúso na cultura da palma forrageira (*Opuntia Ficus indica*).

### **Recomendações para trabalhos futuros**

Realizar avaliação de custos a partir da substituição de materiais alternativos de construção.

Incluir na avaliação econômica a taxa interna de retorno do sistema de reúso utilizando diferentes métodos de irrigação, e para diferentes culturas, a fim de selecionar o método de melhor atratividade, assim como verificar a economia alcançada pelas famílias da comunidade com a recuperação de água e nutrientes.

Na avaliação ambiental, verificar os efeitos da salinidade e sodicidade no solo e na cultura que receberá a irrigação com água de reúso.

Na avaliação social, analisar o incremento na renda familiar, por meio do repasse de recursos com a produção da palma forrageira.

Avaliar o nível de aceitabilidade da comunidade atendida ao reúso da água residuária tratada na cultura da palma forrageira, e assim realizar programas sociais tendo em vista desmitificar e tornar conhecidas as vantagens, desvantagens e formas de reúso seguro.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE JR., J. E. de; ALMEIDA, J. E. de; ALMEIDA, J. S. de; BEZERRA, M. C.; CUNHA, A. L.A.; ALVES, S. A. F. Análise do perfil social, econômico, ambiental e físico conservacionista do assentamento Santa Cruz. Cadernos de Agroecologia. v.6, n.2. ISSN 2236-7934. 2011.

ALEM SOBRINHO, P.; Jordão, E. P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - uma análise crítica. In: Pós- tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. PROSAB - PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO 2, p. 490-513, 2001.

ANDRADE, C. C. de; SOUSA, J. T. de; HENRIQUE, I. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. de; MELO, J. K. A. Tratamento de Esgoto Doméstico em sistema compacto anaeróbio-aeróbio. In.: 15º. Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Évora. Portugal: Universidade de Évora. Anais. 2012, p. 1 - 7.

ANDRADE NETO, C. O. de; HAANDEL, A. van ; MELO, H. N. S. O Uso do Filtro Anaeróbio para Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios no Brasil. In: X SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Braga, Portugal. Anais do X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga: APESB/APRH/ABES, 2002. CD-ROM.

ANDREOLI, C. V. (coord.) Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: ABES, 2009 - 388.p.: il. Projeto PROSAB. ISBN 978-85-7022-166-7.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 07229: Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n. 3, p. 225-236, 2011.

BERNAL, D. P.; RESTREPO, I. Key issues for decentralization in municipal wastewater treatment. In: XXII WWW YES, Arcueil, France, 20-26 May, 2012.

BEZERRA, I. M. T.; SILVA, C. G.; BEZERRA, M. C. T.; MIRANDA, G. A. de. Projeto Santa Cruz: apoio à agricultura familiar. In: I Encontro unificado de ensino, pesquisa e extensão da UFCG. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. 2005.

BRASIL, Presidência da República. Casa Civil, Lei No. 9433, de 8 de janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Casa Civil. Presidência da República. 1997.

\_\_\_\_\_, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 54, de 28 de Novembro de 2005 - Estabelece critérios gerais para reúso de água potável. Publicada no DOU em 09/03/06. Brasília: MMA. 2005.

\_\_\_\_\_, Presidência da República. Casa Civil, Lei No. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Casa Civil. Presidência da República. 2007.

\_\_\_\_\_, Presidência da República. Casa Civil, Lei No. 12.305, de 2 de agosto de 2010, Institui a política nacional de resíduos sólidos. Casa Civil. Presidência da República. 2010.

\_\_\_\_\_, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 março. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: 20 mai. 2013.

\_\_\_\_\_, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em : 12 mar.2013.

\_\_\_\_\_, Fundação Nacional de Saúde. 3º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública / Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2013. 256 p. : il.

\_\_\_\_\_, Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2012. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2014. 432p. texto, tabelas.

\_\_\_\_\_, Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Operação e manutenção de tanques sépticos - lodo: manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014. 32 p.

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; T. de B. M.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB / Wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, n.3, p. 421-430, 2009.

CHAN, Y. J.; CHONG, M. F.; LAW, C. L.; HASSEL, D. G. A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. Chemical Engineering Journal, v.155, p. 1-18, 2009.

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 - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 8, n.1, p. 172-185, 2013.

CRITES, R., TCHOBANOGLIOUS, G. Small and Decentralized Wastewater Management Systems. International Edition. McGraw-Hill: 1998, Boston.

FANE, S. A.; ASHBOLT, N. J.; WHITE, S. B. Decentralized urban water reuse: The implications of system scale for cost and pathogen risk. IWA Publishing: Water Science and Technology, v. 46, n. 6-7, p. 281-288, 2001.

GALVÃO JUNIOR, A. C. Desafios para universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Revista Pan Americana de Salud Publica*, v, 25, p. 548-556, 2009.

GITMAN, L. J. *Princípios de administração financeira*. 10. Ed. São Paulo, 745p.: il, ISBN 85-88639-12-2. 2004.

GIUSTINA, S. V. D.; MIRANDA, L. A. S.; MONTEGGIA, L. O. Remoção de matéria orgânica, e sólidos suspensos por nova configuração de biofiltro aeróbio submerso no pós-tratamento de efluente de reator UASB. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.3, p. 257-266, 2010.

GOLDMAN, P. *Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira*. 4a. edição. São Paulo: Pini. 176 p., 2004.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Bahia análise & dados*. Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

HOFFMANN, H.; WOLFF, D. B.; PLATZER, C.; COSTA, R. H. R.; Proposta para o saneamento descentralizado no Brasil (Tecnologias de baixo custo para o tratamento de esgotos urbanos). In: *Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia em Resíduos e desenvolvimento sustentável*, ICTR. Florianópolis, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico. 2010. disponível em: <<http://www.ibge.com.br/censo2010.htm>> acesso em 07 mai. 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. Rio de Janeiro: 4a. edição. SEGRAF editoração e impressão, 2005. 932 p.

KOSEK, M.; BERN, C.; GUERRANT, R. L. The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. *Bulletin of the World Health Organization*, Geneve, v. 81, p. 197-204, 2003.

KRONEMBERGER, D. Análise dos impactos na saúde e no Sistema Único de Saúde decorrente de agravos relacionados a um esgotamento sanitários inadequado dos 100 maiores municípios brasileiros no período 2008-2011. Instituto Trata Brasil. 2013. Disponível em <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/drsai/Relatorio-Final-Trata-Brasil-Denise-Versao-FINAL.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2013.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation - a way to solve global sanitation problems? *Environment International*, v. 31, p. 433- 444, 2005.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*, v. 45, n. 2, p. 331-48, 2011.

\_\_\_\_\_; OLIVEIRA, S. V. W. B. de; OLIVEIRA, M. M. B. de. O equilíbrio de Nash como uma solução para o conflito entre eficiência e custo na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário com o auxílio de um modelo de tomada de decisão. Artigo técnico. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES, v. 15, n.1, 2010.

LI, J.; Application of Decentralized Wastewater Treatment in Small towns and Villages of China. ESA Report no 2010:15. ISSN: 1404-8167. Göteborg, Sweden, 2010.

LOFRANO, G.; BROWN, J. Wastewater management through the ages: A History of mankind. Elsevier: Science of the total environment. v. 48, p. 5255 – 5261, 2010.

LUCCA, P. V.; SAMWAYS, G.; AISSE, M. M. Estudo dos custos de implantação e operação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários para pequenas comunidades. In.: 26º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Porto Alegre, 2011. p. 1-8.

LUNA, M. L.D. de; SOUSA, J. T. de; LIMA, V. L. A. de; DANTAS NETO, J.; LEITE, V. D. Tratamento de efluente de tanque séptico em filtros de areia intermitentes. Revista educação agrícola superior, V. 28, n. 1, p.15-20, 2013.

MANNICH, P. K. A.; SANTOS, D. C. dos; MANNICH, M. Sistema biológico alternativo para pós tratamento de esgoto. Revista DAE. São Paulo: Sabesp, p. 23-32, 2009.

MARA, D.; DANGERT, J-O.; ANH, N. V.; TONDESKI, A.; GULYAS, H.; TONDESKI, K. Selection of sustainable sanitation arrangements. IWA Publishing: Water Policy. v. 9, p. 305-318, 2007.

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

MELO, J. K. de A.; SOUSA, J. T. d; HENRIQUE, I. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. de.; Santos, A. M. Pós-tratamento de efluente de reator UASB em Filtro Anaeróbio e Filtro de Areia intermitente aeróbio. In: 15o. ENASB - Encontro Nacional de Saneamento Básico. Anais. Anais: 15o. ENASB Encontro Nacional de Saneamento Básico. Évora - Portugal. 2012.

\_\_\_\_\_; SOUSA, J. T. de; HENRIQUE, I. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. de.; ANDRADE, C. C. de. Pós-tratamento de efluente de reator UASB em Filtro Anaeróbio. In: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013. Goiânia. Anais... ABES: 27º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.

\_\_\_\_\_. Pós – tratamento de efluente de reator UASB em filtro anaeróbio submerso e filtro de areia de fluxo intermitente. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, 2013.

METCALF e EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 2ed. New York. McGraw-Hill. 1815p, 2003.

MIZYED, N. R. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid áreas. Environmental Science & Policy, v. 25, p. 186-195, 2013.

MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (ORG.) Reúso de águas em irrigação e piscicultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/Centro de Tecnologia. ISBN 978-85-7563-300-7. 350p, 2007.

MOUSSAVI, G.; KAZEMBEIGI, F.; FARZADKIA, M. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. Elsevier: Institution of Chemical Engineers. Process safety and environmental protection, v. 88, p.47-52, 2010.

NHAPI, I. A Framework for the decentralized management of wastewater in Zimbabwe. Elsevier: Physics and Chemistry of the Earth, v. 29, p. 1265 - 1273, 2004.

NUVOLARI, A. (COORD.) Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 1a. edição. São Paulo: Edigard Blucher, vários autores. ISBN 85-212-0314-4. 520, p, 2003.

\_\_\_\_\_. (COORD.) Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2a. ed. revista, atualizada e ampliada. São Paulo: Edgard Blücher, vários autores. ISBN 978-85-212-0568-5. 565 p, 2011.

OLIVEIRA JR., J. L de; SOUSA, J. T. de; SILVA, S. A. da. Modelagem matemática de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos domésticos no auxílio à seleção de alternativas. In: XIISIBESA - XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2014. Natal. Anais... ABES: XII SIBESA - XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014.

\_\_\_\_\_. Modelo de avaliação de alternativas de tratamento descentralizado de esgotos doméstico para pequenas comunidades. Tese de Doutorado. 2014. 208 f. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG - CTRN. Doutorado em recursos naturais. 2014.

OLIVEIRA, S. V. W. B. Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, V. S.; FERREIRA, M. A.; GUIM, A.; MODESTO, E. C.; ARNAUD, B. L.; SILVA, F. M. Substituição total do milho e parcial do feno do capim-tifton por palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Produção, composição do leite e custos com alimentação. R. Brasileira de Zootecnia, v.36, n.4, p.928-935, 2007.

OTTERPOHL, R.; GROTTKER, M.; LANGE, J. Sustainable water and waste management in urban areas. Water Science and Technology, v.35, n. 9, p. 121–133, 1997.

PARGA, P. Cálculo do preço de venda na construção civil. 2a. edição. São Paulo: Pini. 148, p, 2003.

PARKINSON, J.; TAYLER, K. Decentralized wastewater management in peri-urban areas in low-income countries. Environment & Urbanization, v. 15, n. 1, April 2003.

PARTEN, S.M. Planning and installing sustainable onsite wastewater systems. McGraw Hill. USA, 412 p. II. ISBN 978-0-07-162463-3, 2010.

PHILIPPI, L. S.; OLJNYK, D. P.; MAGRI, M. E. Arranjos tecnológicos para o tratamento descentralizado de esgotos sanitários. Universidade Federal de Santa Catarina. GESAD - Grupo de estudos em saneamento descentralizado. Palestra ministrada In: ECOSAN. Fortaleza, 2007.

RAJINIKANTH, R.; RAMIREZ, I.; STEYER, J. P.; MEHROTRA, I.; KUMAR, P.; ESCUDIE, R.; TORRIJOS, M. Experimental and modeling investigations of a hybrid upflow anaerobic sludge-filter bed (UASFB) reactor. *Water Science and Technology*, v. 58, n.1, p. 109-117, 2008.

REZENDE, C. C. S. de. Reúso potável de esgotos domésticos: possibilidades e riscos. 2011. 235 f. Dissertação de Mestrado em ciências (Engenharia hidráulica e saneamento). Universidade de São Paulo - USP – DEHS, 2011.

RODRIGUES, L. G. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano em Cuba. *Ingeniería hidráulica y ambiental*. v. 30, n.1, p. 29-35, 2009.

SABRY, T. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing Up flow Septic Tank/Blaffled Reactor (USBR) in developing countries. Elsevier: *Jornal of Hazardous Materials*, v. 174, p. 500 - 505, 2010.

SANT'ANNA JR., G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 418p, 2010.

SANTOS, A. M. Tratamento descentralizado de esgotos domésticos em sistemas anaeróbios com posterior disposição do efluente no solo. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, 2013.

SANTOS, D. C.; MEDEIROS, R. M.; OLIVEIRA, V. B. Implantação de projetos de projetos de reúso de efluentes no nordeste brasileiro. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 1, n. 5, p. 51-68, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, T.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 1996. 726 p. ISBN 85-224-1508-0.

SOARES, S. R. A.; CORDEIRO NETO, O. M. de.; BERNARDES, R. S. Avaliação de aspectos político-institucionais e econômico-financeiros do setor de saneamento no brasil com vistas à definição de elementos para um modelo conceitual. *Revista de engenharia sanitária e ambiental*. v. 8, n. 1, p. 84-94, jan/mar 2003 e n. 2, abr/jun 2003.

SOKAL R. R.; ROHLF, F. J. *BIOMETRY - The Principles and Practice of Statistic in Biological Research*. 2nd edition. 1981. San Francisco: W.H. Freeman and Company. 634p

SOUSA, J. T. de; LEITE, V. D.; LUNA, J. G. de. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.107-110, 2001.

\_\_\_\_\_; LOPES W. S.; LEITE V. D.; PRASAD S. Treatment of Sewage for Use in the Agriculture. In: Anna Stephens; Mark Fuller. (Org.). Sewage Treatment: Uses, Processes and Impact. New York: Novo Publisher. p.123-154, 2009.

TONETTI, A. L.; COURACCI FILHO, B.; NICOLAU, C. E.; BARBOSA, M.; TONON, D. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.17, n.3, p.287-294, 2012.

USEPA. United States environmental protection agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems. An introduction to management tools and information for implementing EPA's Management guidelines. 2005. USEPA: EPA No. 832-B-05-001. Cópia eletrônica. Disponível em: <[www.epa.gov.owm/onsite](http://www.epa.gov.owm/onsite)>.

\_\_\_\_\_. United States environmental protection agency. Interactive Handbook for Managing Individual and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems. EPA 832-B-05-005. January 2010 web supplement. EPA:2010. Environmental Protection Agency. Washington, D. C., 11 p.

\_\_\_\_\_. United States environmental protection agency. Guidelines for wastewater reuse in agriculture. EPA/600/R-12/618. September 2012. EPA:2012. Environmental Protection Agency. Washington, D. C. 643 p. il.

VICTORA, C. G. Diarrhea mortality: what can the world learn from Brazil?. *Jornal de Pediatria*, v. 85, n. 1, p. 3-5, 2009.

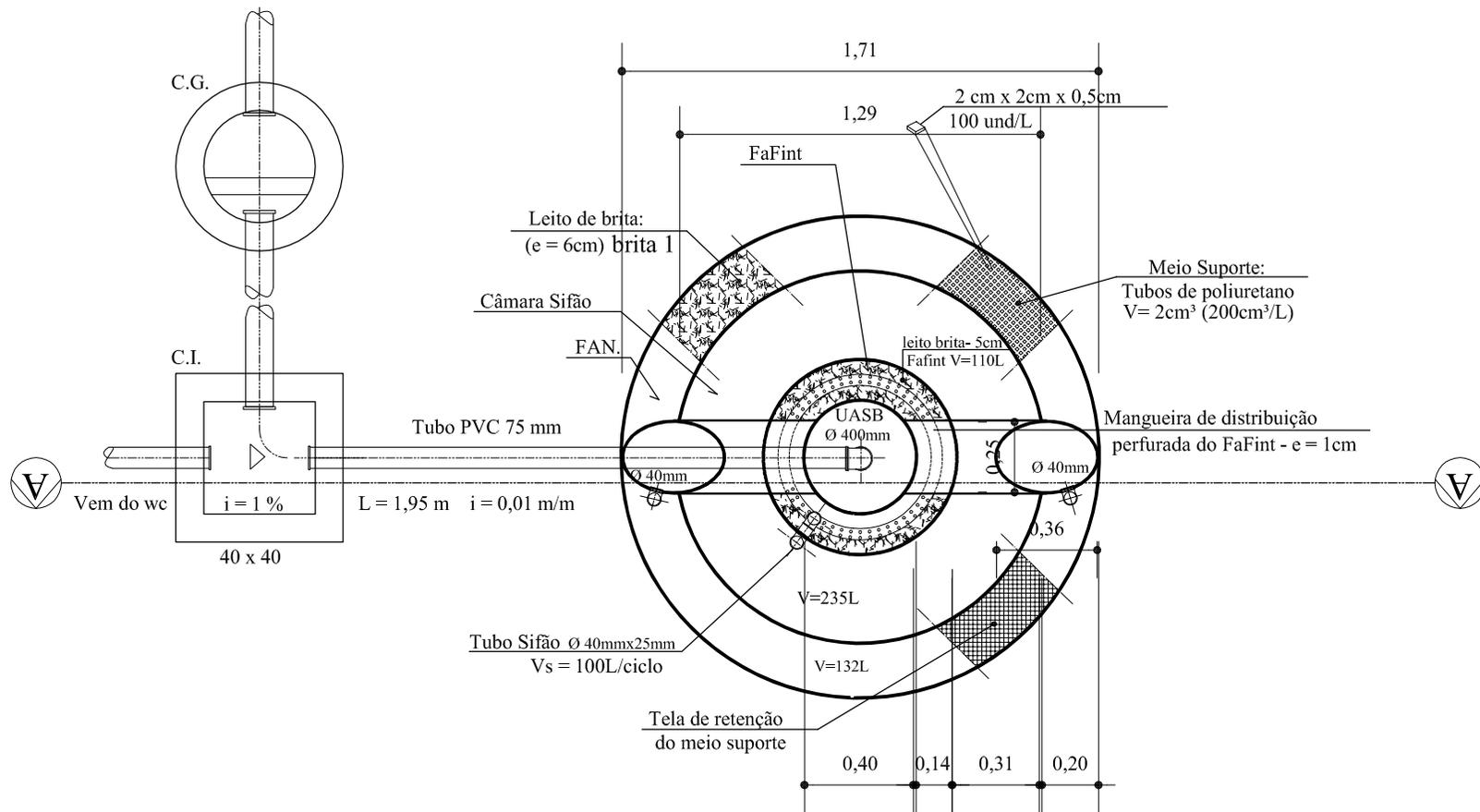
Von SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. DESA/UFMG. Belo Horizonte – MG, 3.ed. v.1, 2005. 452p.

WAGNER, A. G.; BELLOTTO, V. R. Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: Análise econômica de alternativas para municípios Litorâneos - Estudo de Caso do Balneário Camboriú e Itajaí (SC), Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 8, n. 1, p. 93-108, 2008.

WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Wastewater in Use in Agricultural. v. 2. 2006. 630p.

## **8 - APÊNDICES**

**APÊNDICE A:** Projetos dos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e do sistema de reúso.

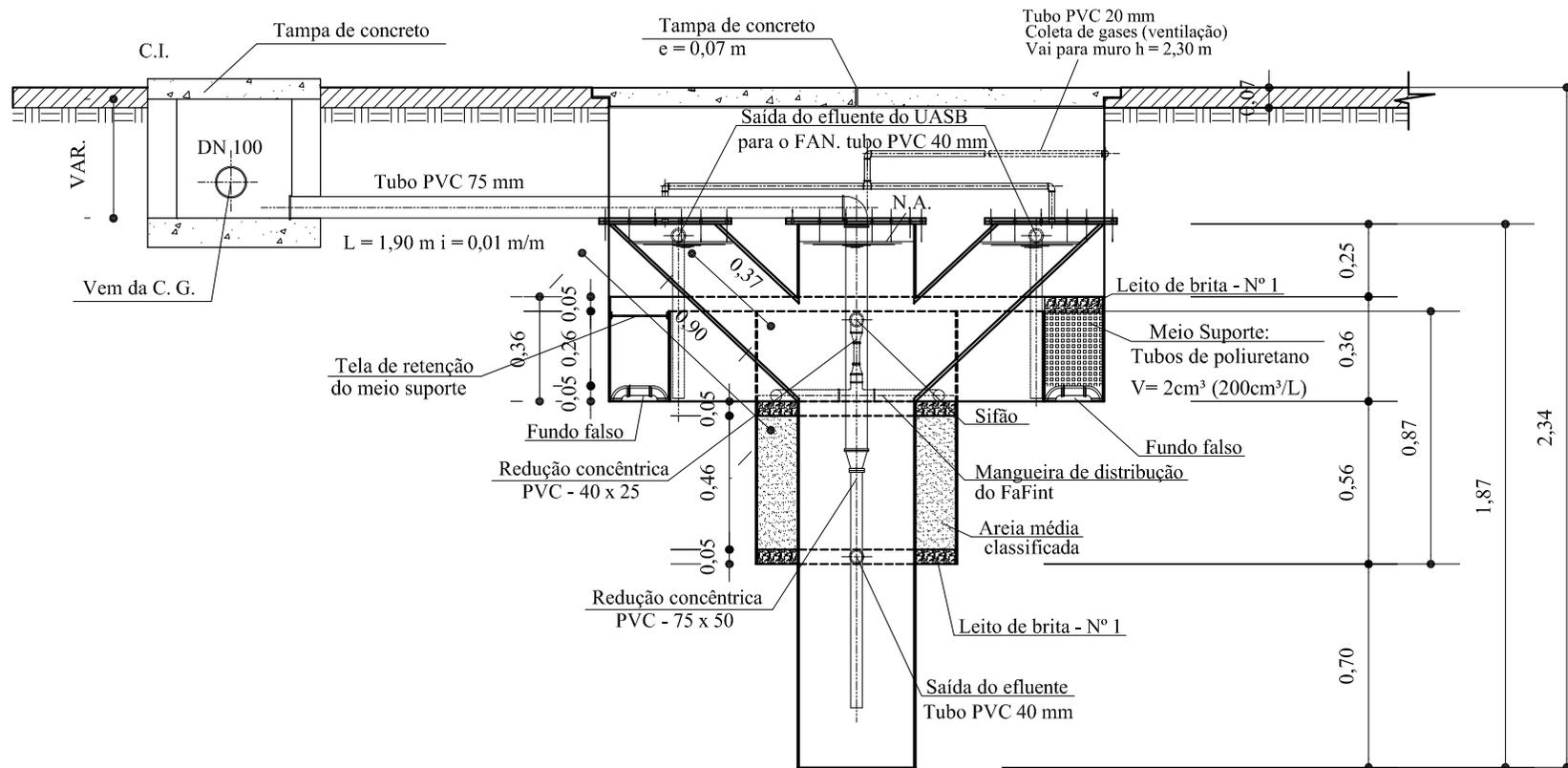


PLATA BAIXA - REATOR UASB 2Y + FILTRO ANAERÓBIO + CAMÂRA SIFÃO E FILTRO AERÓBIO (ECO 1)

Escala:

1:25

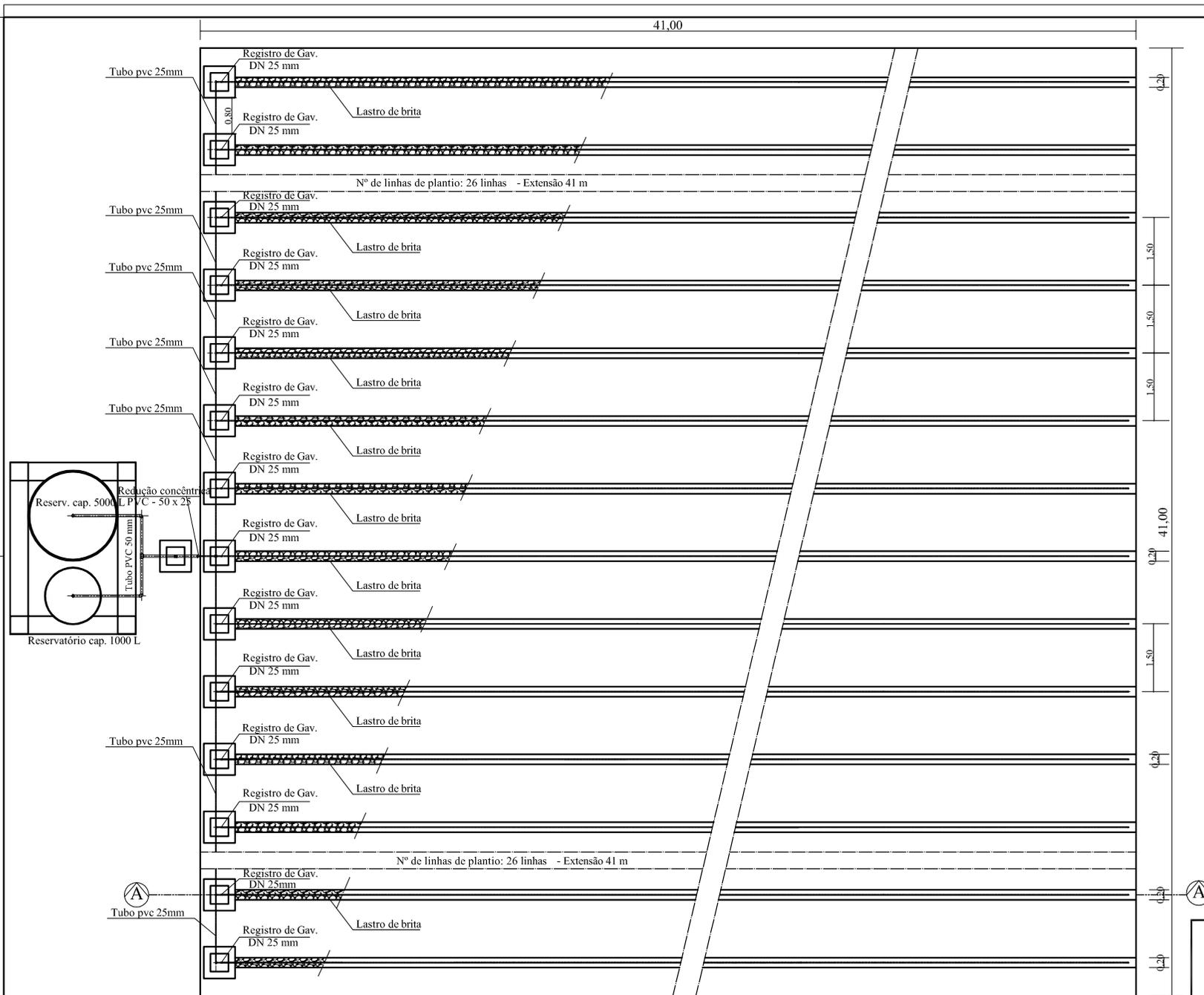
CTR/UFCE	MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS			
	SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (Estação compacta ECO 1)			
CONTEÚDO: PLANTA BAIXA				
CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	INDICADA	MAIO/2014	01/02



## CORTE LONGITUDINAL A -A - (ECO 1)

Escala: \_\_\_\_\_ 1:25

CTRN/UFMG	MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS			
	SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (Estação compacta ECO 1)			
	CONTEÚDO: CORTE LONGITUDINAL AA			
CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA:	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	INDICADA	MAIO/2014	02/02



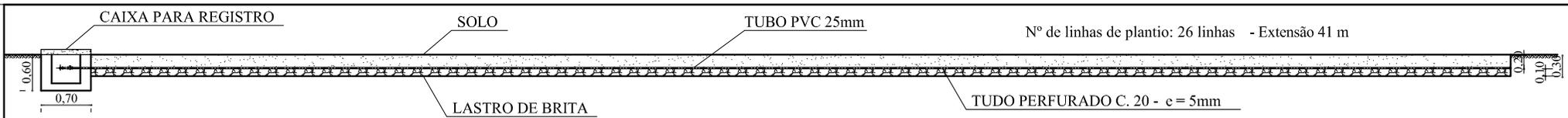
**PLANTA BAIXA -SISTEMA DE REUSO**

Escala: 1:125

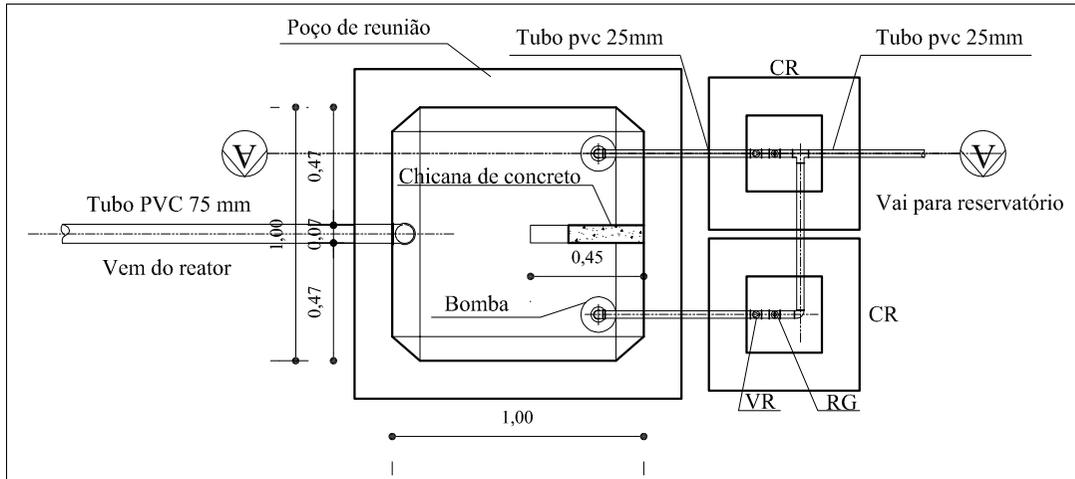
CTRN/UFCC

MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS			
<b>SISTEMA DE REUSO</b>			
CONTEÚDO: <b>PLANTA BAIXA</b>			

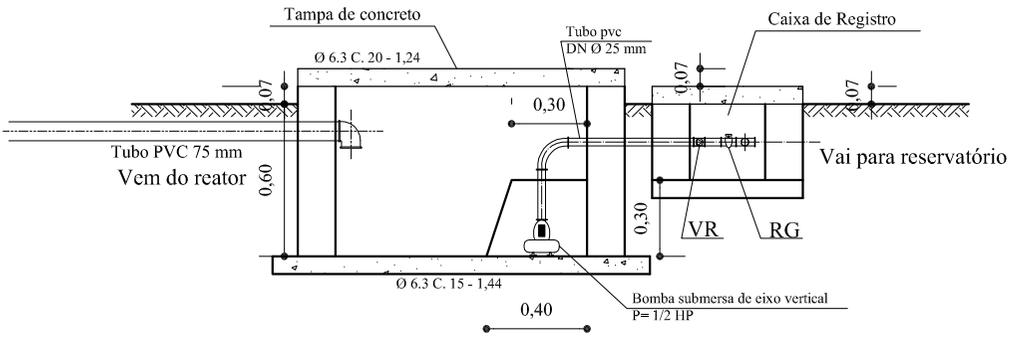
CONFERIDO: Oliveira Jr.	DESENHO: SILVA	ESCALA: INDICADA	DATA MAIO/2014	DESENHO: 01/02
----------------------------	-------------------	---------------------	-------------------	-------------------



**CORTE LONGITUDINAL AA - SISTEMA DE REUSO**  
 Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.



**PLANTA BAIXA - POÇO DE REUNIÃO**  
 Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.



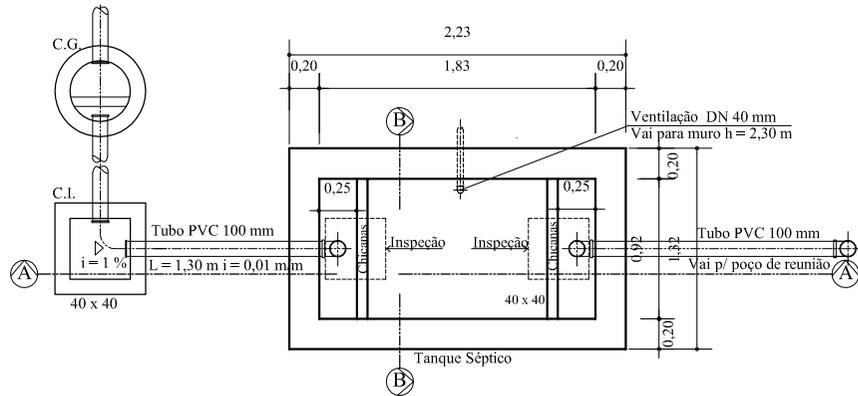
**CORTE LONGITUDINAL AA - POÇO DE REUNIÃO**  
 Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.

CTRN/UFMG

MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS  
**SISTEMA DE REUSO**  
**(POÇO DE REUNIÃO)**

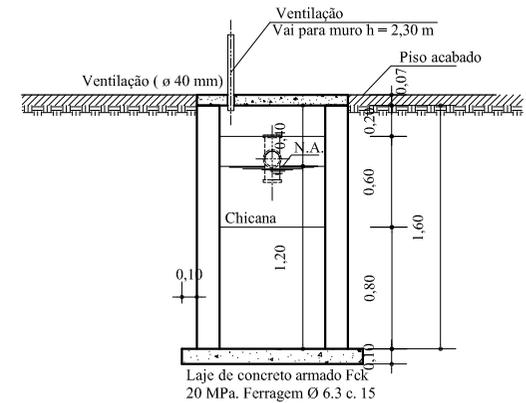
CONTEÚDO:  
 SISTEMA DE REUSO (CORTE LONGITUDINAL AA) E POÇO DE REUNIÃO (PLANTA BAIXA E CORTE LONGITUDINAL AA)

CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	S/ESCALA	MAIO/2014	02/02



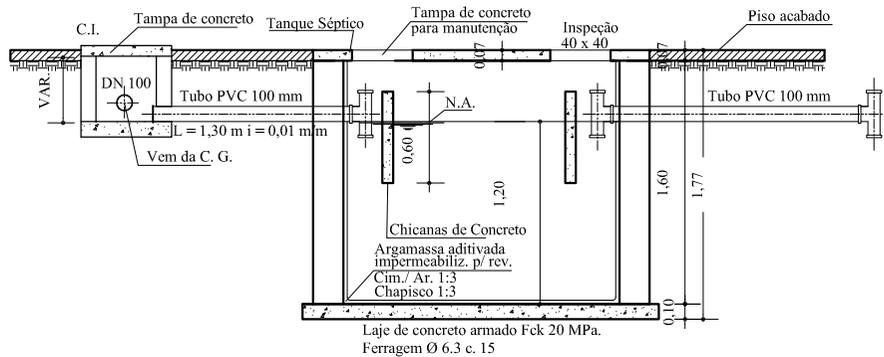
PLATA BAIXA - TS

Escala: \_\_\_\_\_ 1:50



CORTE TRANSVERSAL B B - TS

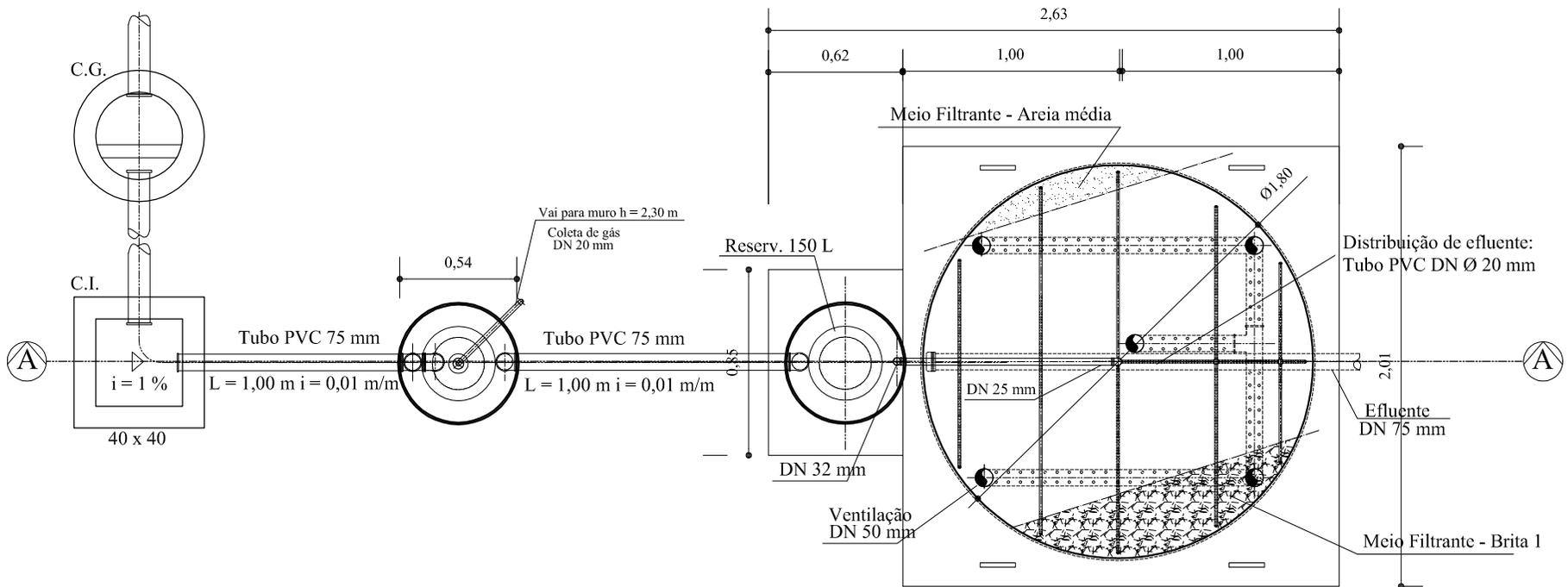
Escala: \_\_\_\_\_ 1:50



CORTE LONGITUDINAL A A - TS

Escala: \_\_\_\_\_ 1:50

CTRN/UFMG	MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS			
	SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (TANQUE SÉPTICO)			
CONTEÚDO: PLANTA BAIXA, CORTE LONGITUDINAL AA, CORTE TRANSVERSAL BB.				
CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	INDICADA	MAIO/2014	01/01

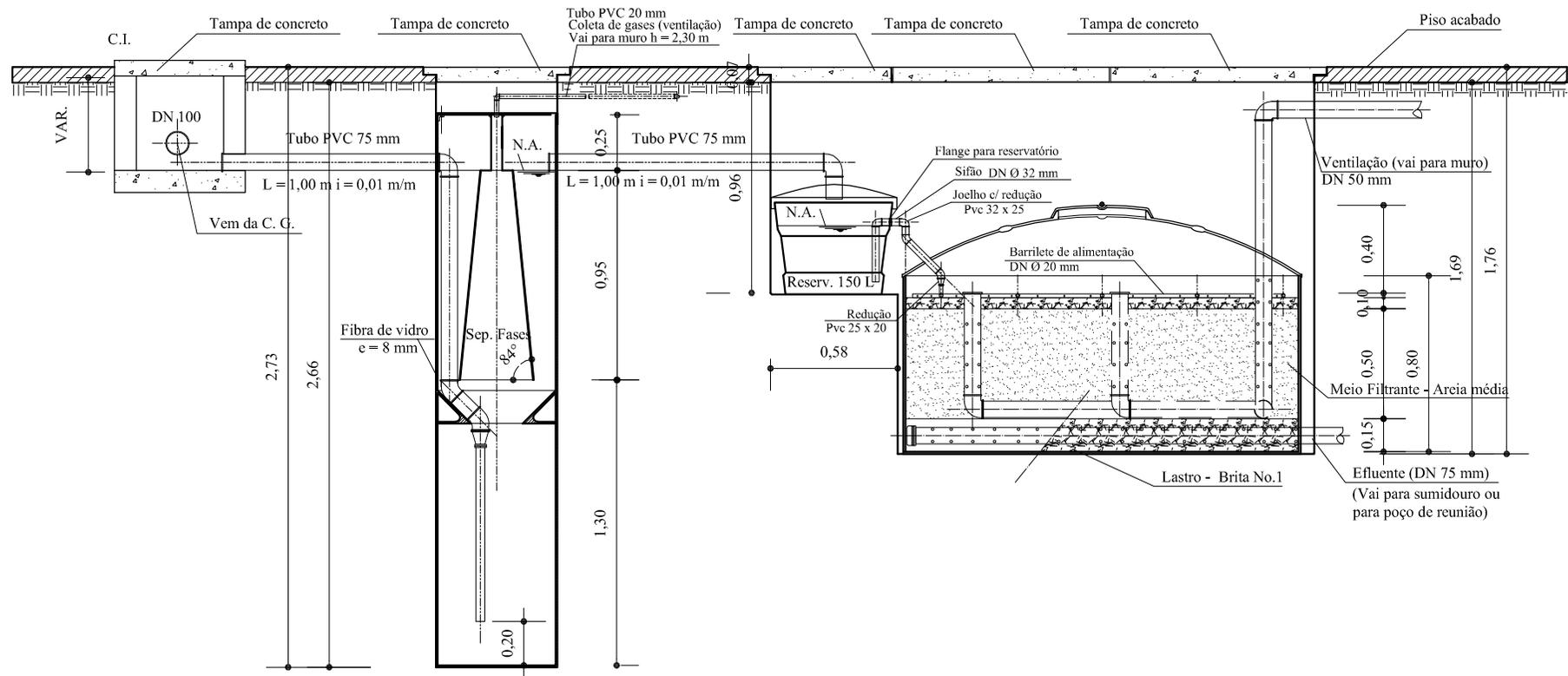


PLATA BAIXA - UASB CONVENCIONAL + FILTRO DE AREIA DE FLUXO INTERMITENTE

Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.

<b>CTRN/UFMG</b>	MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS			
	SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (UASB CONVENCIONAL + FaFint )			
	CONTEÚDO: PLANTA BAIXA			

CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	S/ESCALA	MAIO/2014	01/02



CORTE LONGITUDINAL A - A - UASB C + FILTRO DE AREIA DE FLUXO INTERMITENTE

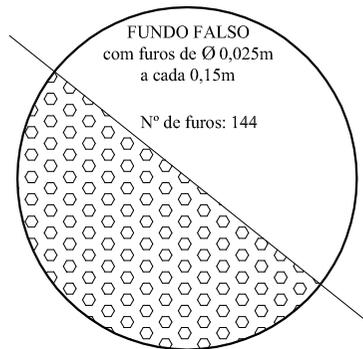
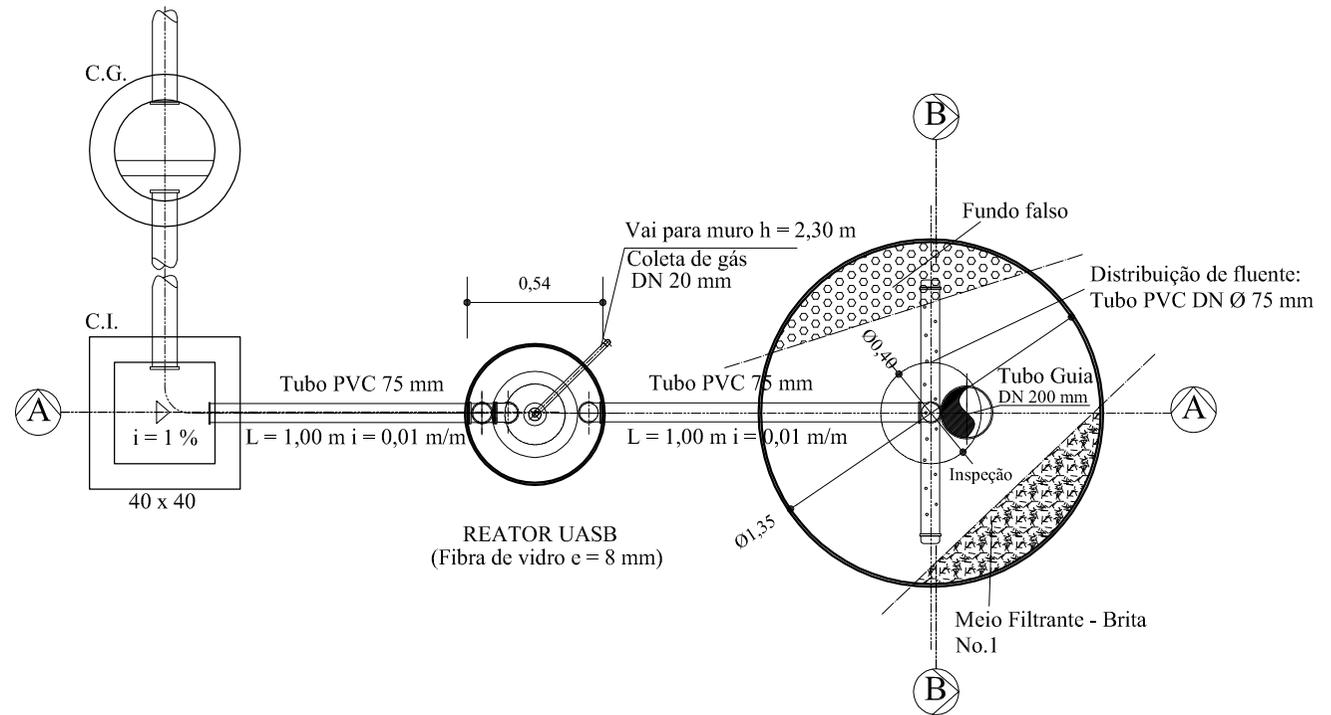
Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.

CTR/UFMG

MISTRADO EM RECURSOS NATURAIS  
 SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
 (UASB CONVENCIONAL + FaFint )

CONTEUDO: CORTE LONGITUDINAL AA

CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	S/ESCALA	MAIO/2014	02/02



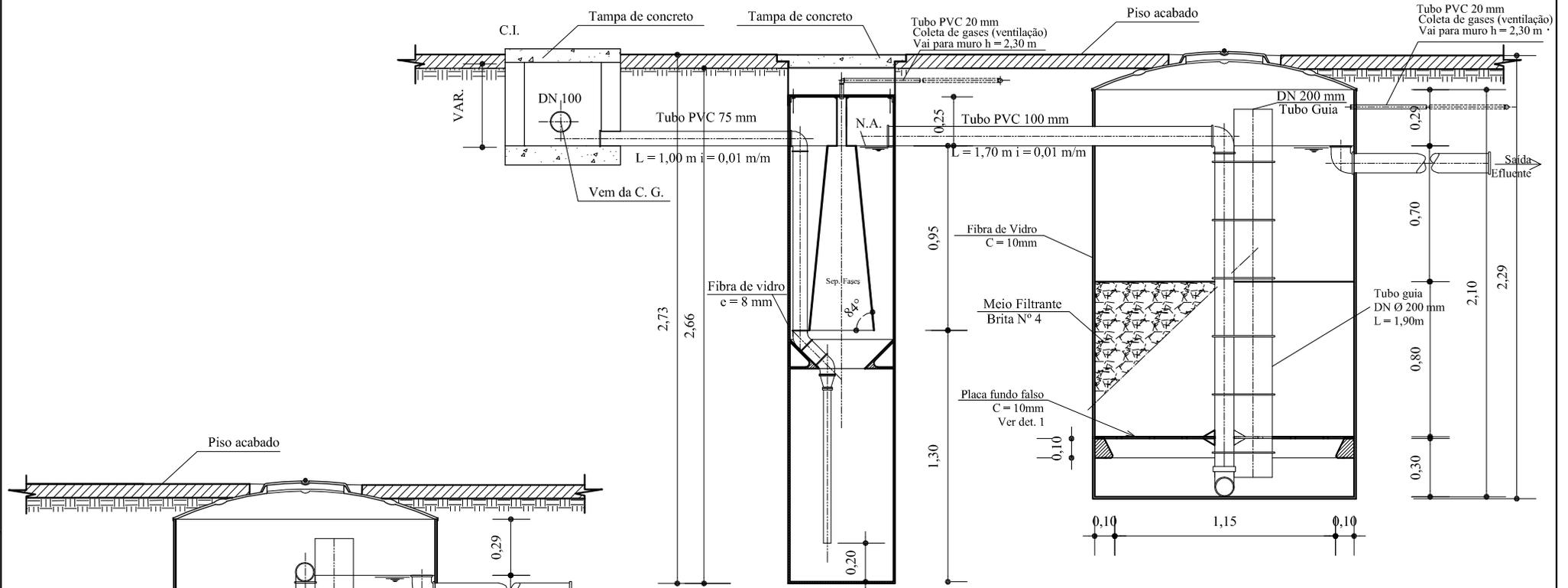
DET. 1- FUNDO FALSO

Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.

PLATA BAIXA - REATOR UASB + FILTRO ANAERÓBIO COMPACTO

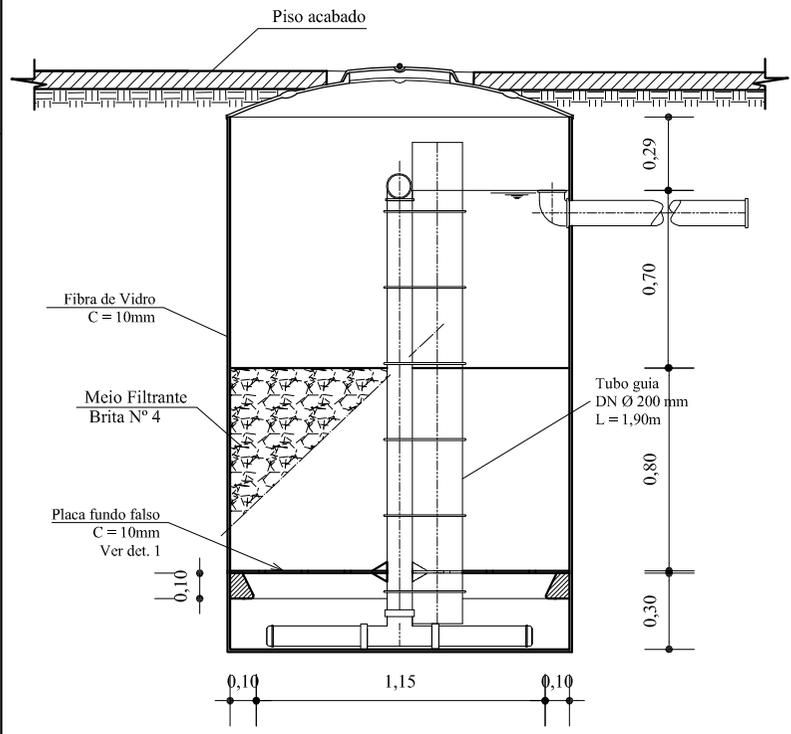
Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.

CTR/UF	MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS			
	SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (UASB CONVENCIONAL + FAN)			
CONTEÚDO: PLANTA BAIXA E DETALHE 1				
CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	S/ESCALA	MAIO/2014	01/02



CORTE LONGITUDINAL A A - REATOR UASB + FILTRO ANAERÓBIO COMPACTO

Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.



CORTE TRANSVERSAL BB DO FILTRO ANAERÓBIO

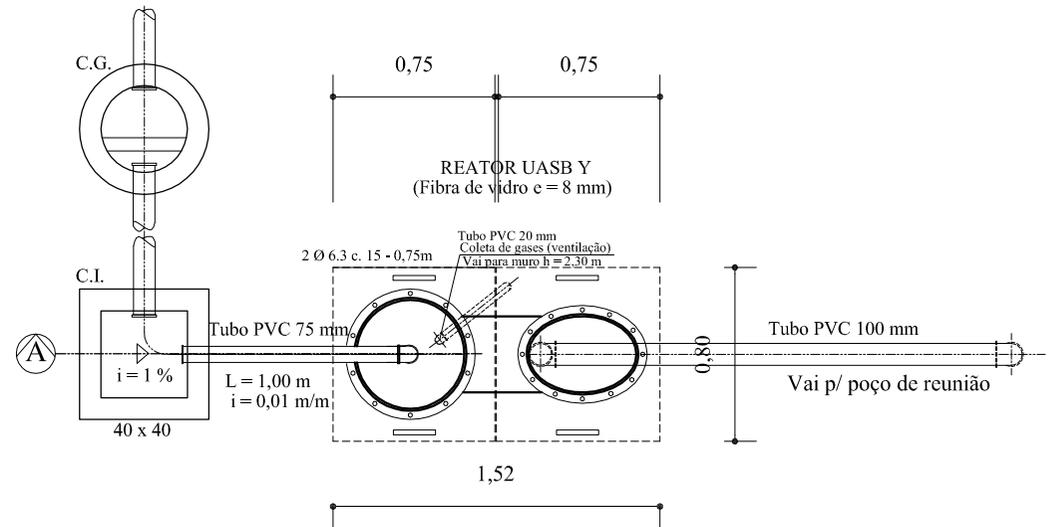
Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC.

CTRN/UFMG

MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS  
 SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
 (UASB CONVENCIONAL + FaFint)

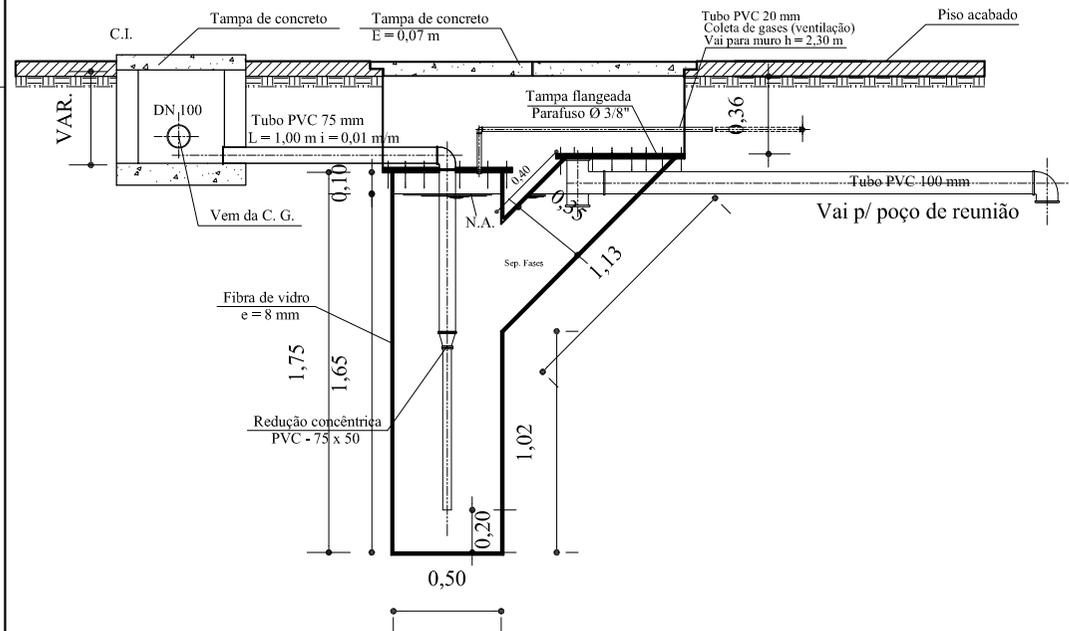
CONTEÚDO: CORTE LONGITUDINAL AA E CORTE TRANSVERSAL BB

CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	S/ESCALA	MAIO/2014	02/02



### PLANTA BAIXA - REATOR UASB Y

Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC



### CORTE LONGITUDINAL A -A - REATOR UASB Y

Escala: \_\_\_\_\_ S/ESC

<b>CTRN/UFMG</b>	Mestrado em Recursos Naturais			
	Sistema Descentralizado de Tratamento de Esgoto (Reator UASB Y)			
	Conteúdo: Planta Baixa, Corte Longitudinal AA.			

CONFERIDO:	DESENHO:	ESCALA:	DATA	DESENHO:
Oliveira Jr.	SILVA	S/ESCALA	MAIO/2014	01/01