



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE NO REÚSO DOMÉSTICO DA ÁGUA CINZA  
TRATADA PARA FINS NÃO POTÁVEIS

**HAMILTON DE ARAÚJO SILVA NETO**

FEIRA DE SANTANA, BA – BRASIL  
MARÇO DE 2018

Hamilton de Araújo Silva Neto

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE NO REÚSO DOMÉSTICO DA ÁGUA CINZA  
TRATADA PARA FINS NÃO POTÁVEIS

**HAMILTON DE ARAÚJO SILVA NETO**

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva

FEIRA DE SANTANA, BA – BRASIL

MARÇO DE 2018

**Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado**

S585a Silva Neto, Hamilton de Araújo  
Avaliação da potencialidade no reúso doméstico da água cinza tratada para fins não potáveis / Hamilton de Araújo Silva Neto. - Feira de Santana, 2018.  
102f.: il.

Orientador: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2018.

1. Água – Reuso. 2. Águas residuais – Tratamento. 3. Água cinza – Tratamento – Reutilização. I. Silva, Eduardo Henrique Borges Cohim, orient. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

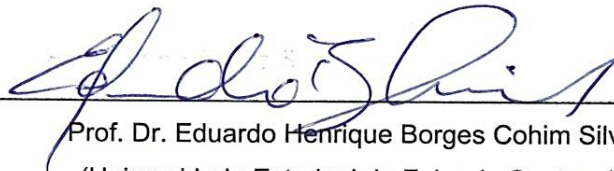
CDU: 628.1

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE NO REÚSO DOMÉSTICO DA ÁGUA CINZA  
TRATADA PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Hamilton de Araújo Silva Neto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL.

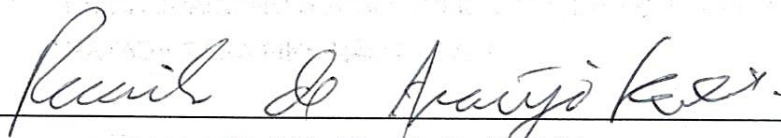
Aprovada por:



Prof. Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva  
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Dr. Silvio Roberto Magalhães Orrico  
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Dr. Ricardo Araújo Kalid  
(Universidade Federal do Sul da Bahia)

FEIRA DE SANTANA, BA – BRASIL  
MARÇO DE 2018

## DEDICATÓRIA

*A todos que me amam*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar meu caminho e me dar saúde nessa trajetória difícil, mas gratificante

A meus pais que me apoiaram e tornaram possível a concretização desse projeto

A minha noiva Priscila que foi compreensiva e sempre me apoiou com as melhores palavras possíveis.

A meu sogro Ubiratan, minha sogra Marta e meu cunhado Juninho pela ajuda que me deram

A meus amigos Dilson, Pedro, Teodoro, Igor, Joelho, Francisco e Elvira que possibilitaram momentos de lazer.

A Camila, Jálvaro, Adriano, Samuel e Diego que me ajudaram a e me aconselharam nos momentos que mais precisei.

A Tamires e Gislana que foram grandes companheiras.

A meus colegas de turma, Viviane, Luiz, Tamille e Lourdes que me aturaram e me aceitaram.

A todos do grupo de águas que pacientemente ouviu sobre meu projeto e me aconselharam.

A todos os funcionários e professores do programa de pós-graduação em engenharia civil e sanitária ambiental

A minha tia Isis e sua família que sempre procurou me ajudar.

A toda a minha família e todas as pessoas que torceram por mim.

E por fim e não menos importante ao professor Dr. Eduardo Cohim e sua família que me acolheu, aconselhou e tornou o caminho mais fácil e um fim realmente gratificante

“Água mole pedra dura  
tanto bate até que fura”  
Ditado popular

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE NO REÚSO DOMÉSTICO DA ÁGUA CINZA  
TRATADA PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Hamilton Araújo da Silva Neto

Março/2018

Orientador 1: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva, D. Sc.

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

O tratamento e o reúso de águas cinzas tem sido estudado como uma alternativa para usos não potáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de reúso de água cinza tratada (ACT) em uma residência de alto padrão em Feira de Santana – BA. Analisou-se o risco microbiológico através da metodologia da Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM); o potencial de geração de maus odores por meio de pH, OD e ORP; a cor medida diretamente; e a energia incorporada usando a metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV). A média do risco microbiológico da ACT foi da ordem de  $10^{-5}$  DALY.pppa<sup>-1</sup>. A ACT também mostrou baixo potencial em gerar maus odores. A cor medida foi em média 13,5 uH, com desvio padrão de 10 uH. A intensidade energética do sistema foi de 2,74 kWh/m<sup>3</sup> de ACT produzida, resultado inferior ao da concessionária local. Conclui-se que a água cinza (AC) possui grande potencial de reúso para fins menos nobres.

**Palavras-chave:** Água cinza, reúso, avaliação quantitativa de risco microbiológico, análise do ciclo de vida.

Abstract of Dissertation presented to PPGECEA/UEFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)



# POTENTIAL EVALUATION OF USING TREATED GREYWATER FOR RESIDENTIAL NONPOTABLE USES

Hamilton Araújo da Silva Neto

March/2017

Advisor 1: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva, D. Sc.

Department: Civil and Environment Engineering

Treatment and reuse of gray water (GW) has been studied as an alternative for non-potable uses. The objective of this study was to evaluate the potential for reuse of treated gray water (TGW) in a high standard residence in Feira de Santana – BA. The microbiological risk for TGW use was assessed via the methodology Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA); the potential for generating bad odors by means of pH, DO and ORP measurements; the color was measured directly; and the embodied energy using the methodology of Life Cycle Assessment LCA. The average microbiological risk of TWG was of the order of  $10^{-5}$  DALY.pppa<sup>-1</sup>. The ACT also presented low potential for generating bad odors. The measured color was on average 13.5HU, with a standard deviation of 10 uH. The system's embodied energy found was 2.74 kWh/m<sup>3</sup> of TGW produced, lower than the local concessionaire numbers. The gray water (GW) is found to have great potential for less noble reuse purposes.

**Keywords:** Greywater, reuse, quantitative microbial risk assessment, life cycle assessment.

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
2	OBJETIVOS .....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	objetivos específicos.....	17
3	referencial teórico .....	18
3.1	ÁGUA CINZA.....	18
<b>3.1.1</b>	<b>Características da água cinza .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Reúso de água cinza.....</b>	<b>21</b>
3.2	risco no reúso de água .....	22
<b>3.2.1</b>	<b>Risco microbiológico da água cinza.....</b>	<b>22</b>
3.3	aspectos estéticos .....	25
<b>3.3.1</b>	<b>Odor da água cinza .....</b>	<b>25</b>
3.4	ASPECTOS AMBIENTAIS.....	28
<b>3.4.1</b>	<b>Água e energia .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Energia incorporada à água cinza .....</b>	<b>31</b>
3.5	tratamento de água cinza .....	31
3.6	ACEITABILIDADE DA ÁGUA CINZA.....	33
3.7	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV).....	35
<b>3.7.1</b>	<b>Cumulative energy demand (CED).....</b>	<b>36</b>
4	METODOLOGIA.....	38
4.1	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA (ETAC).....	38
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA BRUTA E TRATADA.....	40
<b>4.2.1</b>	<b>Análise físico-química .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análises microbiológicas .....</b>	<b>42</b>
4.3	odor .....	42
4.4	avaliação quantitativa de risco microbiológico (aqrm) .....	43
<b>4.4.1</b>	<b>Identificação de perigo .....</b>	<b>44</b>

4.4.2	<b>Avaliação da exposição</b> .....	46
4.4.3	<b>Avaliação dose-resposta</b> .....	47
4.4.4	<b>Caracterização do risco</b> .....	47
4.5	<b>AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)</b> .....	49
4.5.1	<b>Definição do objetivo e escopo da ACV</b> .....	49
4.5.2	<b>Metodologia da avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)</b> .....	51
4.5.3	<b>Tipo e fonte de dados</b> .....	51
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
5.1	<b>ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM)</b> .....	55
5.1.1	<b>Relação entre concentração de <i>E. coli</i> na água cinza tratada e a concentração de <i>E. coli</i> na água cinza bruta</b> .....	55
5.1.2	<b>Resultados da Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico</b> .....	56
5.2	<b>ENERGIA INCORPORADA</b> .....	59
5.2.1	<b>Qualidade dos dados</b> .....	61
5.3	<b>ASPECTOS ESTÉTICOS</b> .....	62
5.3.1	<b>Odor</b> .....	62
5.3.2	<b>Cor</b> 64	
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	65
7	<b>RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS</b> .....	67

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> – Distribuição do consumo de água residencial .....	19
<b>Figura 2</b> – A variação na condição do esgoto em relação com a concentração de oxigênio dissolvido e potencial redox .....	27
<b>Figura 3</b> – Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida .....	36
<b>Figura 4</b> – Estação de tratamento de água cinza, vista superior. Comp. - Compartimento ..	40
<b>Figura 5</b> – Estação de tratamento de água cinza, corte A-A.....	40
<b>Figura 6</b> – Pontos de coleta .....	41
<b>Figura 7</b> – A variação na condição do esgoto em relação com a concentração de oxigênio dissolvido e potencial redox .....	43
<b>Figura 8</b> – Fluxograma da fronteira do sistema avaliado .....	51
<b>Figura 9</b> – Gráfico da concentração em NMP/100mL da quantidade de <i>E. coli</i> na água cinza tratada e na água cinza bruta .....	55
<b>Figura 10</b> – Energia incorporada na fabricação e instalação da ETAC .....	60
<b>Figura 11</b> – ORP ACB .....	63
<b>Figura 12</b> – ORP ACT .....	64

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Características da água cinza bruta .....	20
<b>Tabela 2</b> – Características da água cinza tratada .....	20
<b>Tabela 3</b> – Patógenos de veiculação hídrica .....	24
<b>Tabela 4</b> – Quantidade de H <sub>2</sub> S e suas consequências .....	26
<b>Tabela 5</b> – Variações do consumo de energia no ciclo da água na Califórnia e na Alemanha .....	28
<b>Tabela 6</b> – Classificação das águas de reúso e suas características de acordo com a NBR13.969 de 1997 .....	35
<b>Tabela 7</b> – Quantidade de medidas realizadas e o espaço de tempo entre a coleta e a respectiva medição .....	42
<b>Tabela 8</b> – Relação quantidade de E.coli para 1 organismo patogênico .....	45
Tabela 9 – Dose de AC ingerida por uso .....	46
<b>Tabela 10</b> – Parâmetros das curvas dose-resposta .....	47
Tabela 11 – DALY e razão dose-resposta .....	49
<b>Tabela 12</b> – Distância dos fabricantes ao local de instalação da ETAC .....	52
Tabela 13 – Insumos que compõe a ETAC .....	54
<b>Tabela 14</b> – Risco em DALY no reúso de água cinza tratada para fins não potáveis (valores mediano) .....	56
<b>Tabela 15</b> – Risco em DALY no reúso de água cinza tratada para fins não potáveis (valores de 90% percentil) .....	56
Tabela 16 – Matriz pedigree .....	61
<b>Tabela 17</b> – Resultados do Teste de Armazenamento (média e Desvio Padrão) .....	62
Tabela 18 – DBO e DQO da ACB e da ACT .....	63

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> – Água necessária para produzir energia e as consequências de seu uso .....	30
<b>Quadro 2</b> – Matriz pedigree .....	53
<b>Quadro 3</b> – Risco de diversos autores .....	59
<b>Quadro 4</b> – Energia incorporada na fabricação e instalação da ETAC .....	59

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- AC – Água cinza
- APVP - Anos potenciais de vida perdidos
- AQRM - Avaliação quantitativa do risco microbiológico
- BRLM – Biorreator de Leito Móvel com Biofilme
- CW-FH - Wetlands construído de fluxo horizontal
- CW-FV – Wetlands construído de fluxo vertical
- D – Desinfecção por cloro
- DALY – Disability adjusted life years
- DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
- DQO – Demanda química de oxigênio
- DS – Desinfecção solar
- E. coli* – *Escherichia coli*
- ETAC – Estação de tratamento de água cinza
- ETE – Estações de tratamento de esgoto
- FA – Filtro de areia
- FAO – Food and agriculture organization
- FBAS – Filtro biológico aerado submerso
- FI – Filtro Inorgânico
- FIA – Filtro intermitente aeróbio
- FT – Filtro terciário
- MMMP – Microfiltração com membrana em módulo pressurizado
- NBR – Norma brasileira regulamentadora
- OD – Oxigênio dissolvido
- ORP – Potencial de oxirredução
- pH – Potencial hidrogeniônico
- RAC – Reator anaeróbico compartimentar
- RBC – Contactor biológico rotativo
- SDT – Sólidos dissolvidos totais (mg/L)
- SST – Sólidos suspensos totais (mg/L)
- TA – Tanque anaeróbio
- WHO – World health organization
- YLD – Years lost due to disability
- YLL – Years of life lost
- ACV – Análise de ciclo de vida

**LISTA DE SÍMBOLOS**

- d - dose diária de microrganismo ingerido para cada uso
- DALY - cargas em DALY do patógeno avaliado (DALY); N - dose de microrganismo patogênico presentes em 100 ml de ACT;
- $V_{ing}$  - volume de ACT ingerida por reuso (mL);
- f - frequência diária de reuso;
- $P_{inf}$  - probabilidade diária de infecção;
- r - constante de probabilidade de início de infecção por um único organismo;
- $N_{50}$  - dose infecciosa mediana;
- $\alpha$  - parâmetro de inclinação;
- $P_a$  - probabilidade anual de infecção;
- n - número de dias em um ano (dias);
- $P_d$  - Probabilidade anual de uma pessoa infectada ficar doente;
- K - Relação doença/infecção do patógeno avaliado;
- $P_{d, DALY}$  = Risco em DALY de cada microrganismo patogênico para cada uso da ACT estudado nesse trabalho (DALY);
- bmc - bilhões de metros cúbicos



## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a manutenção da vida, no entanto, devido ao consumo exacerbado, a mesma vem sendo consumida em quantidade cada vez maior e por ser um bem finito, muitas regiões do planeta já têm enfrentado desafios relacionados à escassez hídrica. Tendo essa problemática em vista, a comunidade acadêmica vê a necessidade de buscar formas mais eficientes de uso e reúso desse recurso.

Além do consumo exacerbado, a poluição dos mananciais é outro problema gerado pela atual forma de manejo da água, que possui uma abordagem de início e fim de tubo, fornecendo água potável, coletando o esgoto gerado após o consumo e, por fim, quando não é tratado, acaba sendo despejado nos mananciais, causando poluição.

Essa forma de manejo pode diminuir a quantidade de água com qualidade adequando ao consumo, potencializando a possibilidade de escassez na região. Apesar desses malefícios, essa forma de manejo ainda é utilizada, uma vez que atingiu resultados positivos na eliminação de doenças transmitidas através da água.

Como possível forma de minimizar o problema de escassez de água, principalmente nos grandes centros urbanos, o reaproveitamento dos esgotos domésticos tratados para fins menos nobres como a descarga de vaso sanitário, rega de jardim e lavagem de piso têm sido estudado, tendo-se em vista que o maior consumo de água nesses locais provém das residências, como visto, por exemplo, em estudos na região metropolitana de São Paulo e na cidade de Vitória no Espírito Santo onde a porcentagem de consumo de água residencial chega a um valor acima de 80% do total de água consumida na cidade (GONÇALVES, 2006).

Uma fonte de água de reúso é a água cinza (AC) são efluentes oriundos do chuveiro, do lavatório, do tanque e da máquina de lavar roupas. A AC possui baixa carga poluidora, quando comparada às outras águas residuárias residenciais (ERIKISSON et al. 2002), também é gerada em grande quantidade, representando mais de 50% do total do esgoto produzido na residência (SANT'ANA et. al 2013), portanto, possui excelente potencial de reúso do ponto de vista quantitativo e qualitativo, com capacidade de suprir a necessidade dos usos propostos para reúso (PASIN, 2013).

No entanto, é importante realizar um tratamento para controlar o odor e os aspectos microbiológicos, uma vez que o uso de água cinza sem tratamento pode gerar maus odores, contaminação ambiental e riscos à saúde humana por possuir microrganismos patógenos

(ERIKSSON et al., 2002; COHIM et al 2007). Com isso, existem diversas opções para o tratamento da água cinza (LI et al., 2009).

Os riscos associados à exposição rotineira ou acidental dessa fonte alternativa devem ser considerados, para que se possam estabelecer práticas seguras de reúso (PASIN, 2013). Uma forma de avaliar e quantificar o risco no reúso da AC é utilizando a Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico (AQRM).

Essa metodologia já aceita e utilizada na comunidade acadêmica e nas organizações internacionais como Organização Mundial da Saúde (WHO), Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), Comissão Europeia e Organização Mundial do Comércio (HAAS, 2002).

Uma medida utilizada para quantificar um determinado risco é o DALY (*Disability Adjusted Life Years* – Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade), essa grandeza vem sendo utilizada para indicar a carga global de doença, que representa uma ampliação do conceito de Anos Potenciais de Vida Perdidos (APVP), dessa forma, permitirá obter resultados mais concisos e passíveis de comparação.

Todavia, de nada vale desenvolver uma forma de reúso se esta não for estudada para determinar sua eficiência do ponto de vista ambiental, e uma forma de avaliar esse aspecto é através da quantificação da energia incorporada nessa água.

Outra relevância é a avaliação das características estéticas da AC que venham a implicar na não aceitação do reúso por parte dos usuários, através do estudo dos aspectos estéticos da AC: a geração de odores desagradáveis e a cor deste efluente.

Nesse contexto, essa dissertação avaliou a potencialidade no reúso de AC através da quantificação do risco, da energia incorporada e da avaliação dos aspectos estéticos desse efluente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a potencialidade do reúso da água cinza tratada para fins doméstico não potáveis.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a avaliação quantitativa do risco microbiológico do reúso da água cinza tratada para fins domésticos não potáveis;
- Quantificar a energia incorporada na água cinza tratada;
- Verificar os aspectos estéticos da água cinza tratada.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ÁGUA CINZA

As águas residuais domésticas podem ser classificadas de acordo com as suas diferentes correntes. Essa diferenciação tem o intuito de proporcionar estudos específicos para cada corrente, podendo, dessa forma, gerar cenários de reúso e/ou tratamentos específicos para cada uma. A caracterização destes diferentes tipos de águas residuais é de fundamental importância para o sucesso dos projetos de reúso (BAZZARELLA, 2005).

Segundo Otterpohl (2001), o esgoto doméstico pode ser classificado da seguinte maneira:

- Água negra: efluente proveniente dos vasos sanitários, incluindo fezes, urina e papel higiênico;
- Água cinza: águas servidas, excluindo o efluente dos vasos sanitários;
- Água amarela: representando somente a urina.
- Água marrom: representando somente as fezes.

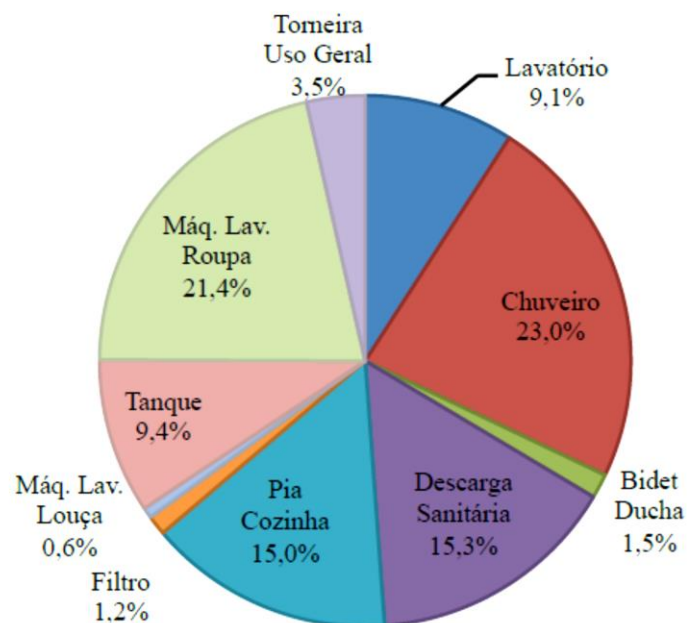
Autores como Jefferson et al. (1999), Ottoson e Stenström (2003), Blood (2012) e Eriksson, et al. (2002), classificam a Água Cinza (AC) aquela proveniente do chuveiro, lavatório, pia de cozinha, máquina de lavar pratos e lavagem de roupa, excluindo o esgoto proveniente do vaso sanitário. Diferentemente Nolde (1999) e Christova-Boal et al. (1995) definem AC como a água residuária proveniente do chuveiro, máquina de lavar, lavanderia e lavatório de mão; excluindo o esgoto proveniente da pia de cozinha e do vaso sanitário. Estes dois autores não consideram como água cinza o efluente oriundo da pia de cozinha e máquina de lavar pratos, por esses possuírem uma carga orgânica de rejeitos muito superior às demais fontes que a compõem.

Henze e Ledin (2001) vão mais além ao dividir a classificação de AC em dois grupos: as claras e as escuras. As águas cinzas escuras são compostas de efluentes provenientes de lavatórios, chuveiros, máquina de lavar roupa, pia de cozinha e máquina de lavar pratos. As águas cinzas claras não possuem a contribuição dos efluentes da pia da cozinha e da máquina de lavar pratos.

### 3.1.1 Características da água cinza

Devido ao fato da água cinza ser basicamente gerada ao tomar banho, lavar roupa e lavar as mãos, essa é basicamente composta por sabão, shampoo, condicionador e similares. A localização geográfica, demografia e o nível econômico das famílias, que ocupam as residências, serão fatores que determinarão os tipos de produtos usados. Como esses produtos variam muito em composição, haverá águas cinzas com diferentes características (JEFFERSON et al. 1999).

Uma característica muito importante a ser mencionada é a geração relativa de água cinza (AC) em uma residência, que, de acordo com Sant'ana et. al (2013) e Hafner (2007) (Figura 1), compõe mais de 50% do esgoto doméstico. Essa constatação é relevante, pois, mostra que a AC tem a capacidade de substituir, em termos quantitativos, a água consumida na bacia sanitária, rega de jardim e lavagem de carro.



**Figura 1** – Distribuição do consumo de água em um prédio residencial. Fonte: SANT'ANA et. Al., 2013.

#### 3.1.1.1 Água cinza bruta e tratada

A Tabela 1 mostra os valores médios e o desvio padrão respectivo a cada valor, encontrado na caracterização realizada por diversos autores da AC bruta (efluente de chuveiro, máquina de lavar e lavatório).

**Tabela 1** – Características da água cinza bruta

<b>Fonte</b>	<b>DQO / (mg/L)</b>	<b>DBO / (mg/L)</b>	<b>OD / (mg/L)</b>	<b>SST / (mg/L)</b>	<b><i>E. coli</i> / (NMP/100mL)</b>
Gonçalves, 2010	237 ; 122	106 ; 53	N.A.	78 ; 54	5,2x10 <sup>0</sup> ; 3,5x10 <sup>1</sup>
Chripim, 2014	247 ; 204	44 ; 8	0	87 ; 118	N.A.
Dell'Uomo, 2014 <sup>(1)</sup>	310	N.A.	N.A.	N.A.	104
Feitosa, 2011 <sup>(1)</sup>	706	381	N.A.	337	9,8x10 <sup>4</sup>
May, 2009	249;98	150 ; 35	N.A.	68 ; 17	6,3x10 <sup>3</sup> ; 5,2x10 <sup>3</sup>

(1) Não há desvio padrão indicado no trabalho.

N.A. – Não avaliado; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; Demanda Química de Oxigênio.

Fonte: Próprio autor.

Através da Tabela 1, é possível verificar que a DQO estimada entre os autores é aproximadamente 350 mg/L e a DBO é cerca de 170 mg/L. As relações DQO/DBO estão entre 1,8 e 2,3, valores muito próximos aos encontrados por Von Sperling (1996) que, para o esgoto doméstico, o valor está na faixa entre 1,6 e 2,4. Com relação a Sólidos Suspensos Totais (SST), a média é aproximadamente 100 mg/L e o Oxigênio Dissolvido (OD), próximo de zero. Através dos resultados obtidos pelos autores, é possível perceber a existência de águas cinzas com características diferentes.

No entanto, os valores possuem baixa confiabilidade, pois, os valores dos desvio padrão são muito expressivos quando comparados com os valores das respectivas médias, além do fato de que alguns autores não disponibilizaram os valores dos desvios padrões.

Na Tabela 2, encontram-se as características da AC pós tratamento, sendo possível, dessa forma, verificar a eficiência dos tratamentos empregados.

Tabela 2 – Características da água cinza tratada

Fonte	Tratamento	DQO / (mg/L)	DBO / (mg/L)	OD / (mg/L)	SST / (mg/L)	<i>E. coli</i> / (NMP/100mL)	Taxa de remoção de <i>E.coli</i>
Gonçalves, 2010 <sup>(1)</sup>	RAC +FBAS+FT+ D	N.A.	12,5	N.A.	5	1,0 x 10 <sup>0</sup>	99%
Chripim, 2014	BLMB + D	74 ; 31	18 ; 8	3 ; 1	11 ; 9	N.A.	N.A.
Dell'Uomo, 2014 <sup>(1)</sup>	MMMP	172	N.A.	N.A.	N.A.	0	>99,9%
Feitosa, 2011 <sup>(1)</sup>	TA+FI+ <i>Wetland</i> +DS	211	84	N.A.	53	8,6 x 10 <sup>2</sup>	99,1%
May, 2009	Biodisco+D+ Filtração	34 ; 10	<10*	N.A.	4 ; 2	<2*	>99,9%

FBAS - Filtro Biológico Aerado Submerso; FT – Filtro terciário; D – Desinfecção por cloro; BRLM – Biorreator de Leito Móvel com Biofilme; MMMP – Microfiltração com membrana em módulo pressurizado; TA – Tanque Anaeróbio; FI – Filtro Inorgânico; DS – Desinfecção Solar; RAC – Reator Anaeróbio Compartimentado.

(1) Não há desvio padrão indicado no trabalho.

N.A. – Não avaliado.

Fonte: Próprio autor.

Com os dados apresentados é possível verificar que todos os tratamentos utilizados foram eficaz na remoção de DQO e DBO. Com relação a *E. coli*, o trabalho que conseguiu atingir valores abaixo de 1000 NMP/100ml, sem utilizar a desinfecção como parte do tratamento foi Dell'Uomo (2015) que utilizou a microfiltração com membrana em módulo pressurizado. Todos os trabalhos listados que utilizaram a desinfecção como parte do processo de tratamento também tiveram valores abaixo de 1000 NMP/100ml.

### 3.1.2 Reúso de água cinza

Sendo as residências as maiores consumidoras de água nas cidades, essas também são responsáveis pela maior parcela de esgoto gerado. Esse efluente é um dos principais responsáveis pela poluição dos corpos d'água, ainda que algumas cidades façam uso de tratamento prévio de parte do esgoto doméstico antes do seu lançamento no corpo hídrico.

A fim de reduzir o consumo exarcebado da água, é possível reutilizar a AC tratada para fins menos nobres, como a descarga no vaso sanitário, irrigação de jardim e lavagem de piso, tendo em vista não possuir fezes, urina e papel higiênico em sua composição, característica importante para torná-la uma fonte de água para reúso (ERIKSSON et al., 2002). Outro fator importante é que a água cinza possui baixo custo envolvido no seu tratamento, quando este é empregado na intenção da reutilização desse efluente para fins não potáveis (COSTELLO, 2013).

De acordo com Fiori et al., (2006) o reúso da AC em edificações é perfeitamente possível, desde que seja projetado para este fim, devendo-se evitar que a água de reutilização seja misturada à água potável, não permitindo, dessa maneira, o seu uso no consumo direto, preparação de alimentos e higiene pessoal.

Uma outra razão para a separação e reúso desse efluente, é sua maior aceitabilidade para reúso em comparação ao esgoto doméstico total (NANCARROW et al., 2002). No entanto, é importante realizar um tratamento para controlar o odor e os aspectos microbiológicos, uma vez que o uso de água cinza sem tratamento pode gerar maus odores, contaminação ambiental e riscos à saúde humana por possuir microrganismos patogênicos (ERIKSSON et al., 2002; COHIM et al 2007).

Além das características acima citadas, convém destacar que a água cinza é gerada em quantidade suficiente, na residência, para suprir a necessidade de reúso na descarga do vaso sanitário, na irrigação de jardim e na lavagem de piso. Outro ponto positivo, diz respeito à carga de contaminação fecal da AC, pois essa é inferior à do esgoto doméstico total, o que evidencia um risco menor a saúde humana ao realizar o reúso dessa água ao invés de reutilizar o efluente doméstico total.

### 3.2 RISCO NO REÚSO DE ÁGUA

Apesar do ganho ambiental ao se reutilizar a água cinza, é importante atentar para o fato de que também há riscos nesse reúso, uma vez que, ela pode estar contaminada com agentes químicos ou microrganismos patogênicos. De acordo com Fane et al. (2002), a água cinza pode estar contaminada com vírus, bactérias, protozoários e ovos de helmintos. Essa contaminação ocorre, na maioria das vezes, por humanos infectados ao gerar esse efluente. Para diminuir esse risco, há a necessidade de realizar um tratamento antes do seu reúso.

#### 3.2.1 Risco microbiológico da água cinza

Mesmo sabendo que a água cinza não possui contribuição do vaso sanitário, local onde se concentra a maior parte dos microrganismos patogênicos, diversos trabalhos vêm evidenciando que esse efluente possui cargas consideráveis de Coliformes Termotolerantes, os quais são indicativos da presença de microrganismos patogênicos, trazendo risco a saúde na sua reutilização (ALEXANDRE et. al., 2011). Apesar de também existirem riscos químicos



no reúso de AC devido a produtos como metais pesados e compostos radioativos, esses riscos são inferiores aos microbiológicos causados por organismos patogênicos (GREGORY et al. 1996).

Tendo esse risco em vista, faz-se imperativo um processo de tratamento antes de reutilizar a água cinza, com enfoque em diminuir os riscos nessa reutilização, mesmo quando o reúso dessa água é para fins não potáveis, que possuem baixo contato e uma dose de ingestão pequena, a exemplo de: irrigação, descarga de vaso, lavagem de carro e de piso.

Há também, necessidade de mensurar esse risco dando-lhe um valor palpável, tornando possível uma avaliação mais eficiente. Uma ferramenta comumente adotada para avaliar o risco no reúso de água é a Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM); com ela é possível obter valores matemáticos, que proporcionarão uma melhor avaliação do risco existente no reúso da AC e tornando possível realizar a comparação com outros riscos à saúde humana como: acidente de trânsito, câncer e outros.

### 3.2.1.1 Patógenos existentes na água cinza

A água cinza, apesar de não ser oriunda do efluente do vaso sanitário, possui fezes em sua composição, ainda que em pouca quantidade. Dessa forma, existe uma grande probabilidade de apresentar microrganismos patógenos tais como, vírus, bactérias, protozoários e ovos de helmintos, os quais podem gerar problemas na saúde dos usuários de água de reúso, que têm contato com a mesma (MAY, 2009). É necessário determinar se há ou não a presença desses microrganismos na água de reúso; no entanto, a determinação exata através do laboratório é inviável, devido à sua complexidade, custo e tempo necessário para a realização dos ensaios. Por este motivo, alguns autores utilizam-se de um indicador patogênico.

Os indicadores de contaminação microbiológica comumente usados são as bactérias do grupo coliforme. De acordo com May (2009) os coliformes totais indicam as condições higiênicas e o grupo de bactérias termotolerantes *Escherichia coli* (*E.Coli.*) é utilizada como indicador de qualidade microbiológica. Esses são microrganismos que tipicamente crescem no intestino de animais de sangue quente (incluindo seres humanos) e são vertidos em seus milhões em cada grama de fezes. A ocorrência de *E. coli* em água cinza indica a presença de fezes, ou seja, um risco de presença de agentes patogênicos, portanto, o risco de contrair doença ou infecção através do contato com essa água (ERIKSSON et al., 2002).

No entanto, de acordo com Pasin (2013), este indicador não é o mais recomendado, pois o mesmo existe em grandes quantidades na AC, e apresenta um potencial de crescimento da população na própria água, podendo gerar erros ao ser utilizado como indicador de patógenos.

Tendo isso em vista, Luz (2012) utiliza os vírus entéricos como indicador, pois esses sobrevivem em ambientes mais agressivos, com grande variação de temperatura e pH, além do fato, de serem parasitas intracelulares obrigatórios, o que os tornam incapazes de se multiplicarem fora do organismo hospedeiro (TAVARES et al., 2005). Todavia, ensaios para determinar sua presença ainda são onerosos e de difícil acesso a laboratórios que façam essa medição. A Tabela 3 mostra alguns dos organismos patógenos que tem a água como veículo de transmissão.

**Tabela 3** – Patógenos de veiculação hídrica

<b>Bactérias</b>	<b>Vírus</b>	<b>Protozoários</b>
<i>Campylobacter jejuni</i>	<i>Adenovírus</i>	
<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterovírus</i>	
<i>Salmonella</i>	<i>Hepatite A</i>	<i>Balantidium coli</i>
<i>Shigella</i>	<i>Agente de Norwalk</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>
<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Reovírus</i>	<i>Giardia lamblia</i>
<i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Rotavírus</i>	<i>Cryptosporidium spp.</i>
<i>Helicobacter pylori</i>	<i>Vírus coxsackie</i>	

Fonte: CHAVES, 2004.

Para Ashbolt et al. (2005), os patógenos Rotavírus, Campylobacteria e Cryptosporidium representam, o pior caso de doença transmitida pela água, respectivamente para vírus, bactéria e protozoário.

O protozoário *Cryptosporidium* é responsável por gerar a doença criptosoridiose. O Ministério da Saúde (2000), em sua portaria 1.469, recomenda a inclusão da pesquisa de *Cryptosporidium spp.* para definir a potabilidade da água, isso demonstra a importância do estudo sobre a ocorrência de *Cryptosporidium spp.* na água (LIMA; STAMFORD, 2003).

A bactéria *Campylobacter* é considerada como a maior causadora de doenças gastrointestinais, em nível mundial. A doença causada por essas bactérias só é fatal em crianças muito jovens e idosos; elas habitam o trato intestinal de animais de sangue quente (WHO, 2006). Ou seja, a presença de fezes na água pode caracterizar a presença dessa bactéria.

Os Rotavírus são vírus entéricos e, por essa presença no trato intestinal do indivíduo, são

eliminados em grandes quantidades através das fezes. Esse patógeno é ainda considerado o maior responsável pelas doenças gastrointestinais em crianças (TAVARES et al., 2005) e sua veiculação é mais intensa durante o inverno (BORCHARDT et al., 2003). Vale ressaltar, que a contaminação fecal das águas cinzas evidenciam a presença desses vírus, havendo a possibilidade de infecção pelo uso dessa água.

### 3.2.1.2 *Disability-adjusted life year* (DALY)

O *Disability-Adjusted-Life-Year* (DALY) pode ser traduzido como anos de vida ajustados por incapacidade; é uma medida para determinar o tempo, em anos, de incapacidade de um indivíduo devido à falta de saúde (WHO 2006). O DALY é definido como a soma entre os anos de vida perdido por morte prematura (YLL – *Years of Life Lost*) e os anos de vida perdidos por incapacidade (YLD – *Years Lost due to Disability*) (FIOCRUZ, 2005). Para o cálculo de DALY é utilizado uma expectativa de vida ideal que é de 80 anos para homens e 82,5 anos para as mulheres (baseando-se na expectativa de vida do Japão).

O uso do DALY para interpretação de resultados de risco é eficiente por ser passível de comparação com qualquer ação que cause a incapacidade de se viver normalmente devido a problemas de saúde, seja uma lesão causada por um acidente, ou por causa de uma doença adquirida. Vale ressaltar que cada doença possui seu peso em DALY, pois, existem doenças mais severas que outras, resultando em diferentes quantidades de tempo perdidos por incapacidade.

## 3.3 ASPECTOS ESTÉTICOS

### 3.3.1 **Odor da água cinza**

Estações de tratamento de água cinza (ETAC) podem gerar odores desagradáveis. Esse pode se tornar um grande problema e desconforto para a população vivendo no entorno ou na residência a qual foi implantada a ETAC. (PRESOTTO, 2014; ALFONSÍN et al., 2015; ZARRA et al., 2008; GOSTELOW et al., 2001; FRECHEN, 1988; SILVA 2007; ALVES et al. 2004). De acordo com Brennan (1993), os gases que geram mau odor podem provocar stress psicológicos, náuseas, tonturas, perda de apetite e insônia, influenciando, negativamente, na qualidade de vida da população.

Por estes motivos, o controle na emissão de gases odoríficos na atmosfera, devido ao tratamento de esgoto, vem sendo estudado, a fim de minimizar e controlar os mesmos, sendo um dos principais fatores a ser levado em consideração na implantação de uma ETAC. (GOSTELOW et al., 2001; ALFONSÍN et al., 2015). Desta forma, torna-se primordial avaliar a capacidade de geração de maus odores lançados na atmosfera pelas ETAC's (STORDEUR et al., 1981). No entanto, não é simples medir a quantidade de odor gerado, pois exige instrumentos específicos, pessoal especializado e tempo, tornando essa medição onerosa; lembrando que, pessoas diferentes podem sentir o odor forte ou fraco, desagradável ou não, tornando subjetiva a percepção de odor para cada pessoa (STORDEUR et al., 1981; HOBSON, 1995; GOSTELOW et al., 2001, SILVA, 2007; ZARRA et al., 2008).

Para podermos avaliar o odor gerado por uma ETAC é necessário entender de onde vêm os maus odores. De acordo com Presotto (2014), os odores são formados por uma mistura complexa de compostos químicos que podem conter enxofre (sulfeto de hidrogênio e mercaptanas), compostos nitrogenados (amônia e aminas), fenóis, aldeídos, álcoois e ácidos orgânicos. O gás sulfídrico é o principal gás responsável pela geração de maus odores nas ETACs. Esse gás é perceptível devido ao seu cheiro característico de ovo podre, além de ser percebido em baixas concentrações, sendo comumente gerado nos processos anaeróbios do tratamento (PRESOTTO, 2014; LUPATINI et al., 2007; ALVES et al., 2004). Além de possuir um mau odor, também gera problemas na saúde das pessoas que estão expostas a determinadas quantidades do mesmo, como mostrado na Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4 – Quantidade de H<sub>2</sub>S e suas consequências**

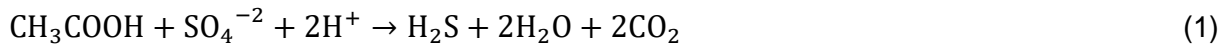
<b>Quantidade do gás H<sub>2</sub>S / (ppm)</b>	<b>Consequências</b>
3 a 10	Ofensivo
10 a 50	Dor de cabeça e enjoos
50 a 100	Lacrimejamento dos olhos
100 a 300	Conjuntivite, perda do olfato e irritação do sistema respiratório
300 a 500	Edema pulmonar
500 a 1000	Alterações no sistema nervoso central
1000 a 2000	Paralisia respiratória e morte

Fonte: Adaptado de LUPATINI *et al.*, 2007.

Na AC o enxofre é proveniente dos sabões, detergentes e da decomposição da matéria orgânica (BEGOSSO, 2009; CRUZ, 2016). Durante o processo de digestão da matéria orgânica, as bactérias têm a necessidade de consumir o oxigênio presente no meio como fonte de elétron acceptor da reação. Inicialmente as bactérias consomem o oxigênio dissolvido (OD) na água (processo aeróbio); com a extinção do oxigênio, elas passam a consumir o oxigênio dos nitratos (processo anóxico) e por fim quando não há mais a presença deste

último, ela consome o oxigênio ligado aos sulfatos (processo anaeróbico), gerando dessa forma o gás sulfídrico. (VON SPERLING, 1996; COHIM et al., 2007).

O processo de redução de sulfatos a sulfeto de hidrogênio é demonstrado na equação química geral (Equação 1) abaixo (ALVES et al., 2004; SILVA, 2007; VON SPERLING, 1996):



De acordo com Von Sperling (1996) a sequência de transformações que ocorre no tratamento de esgotos é função do aceptor de elétrons e do estado de oxidação do composto, medido pelo seu potencial de oxirredução; esse processo é mostrado na Figura 2:

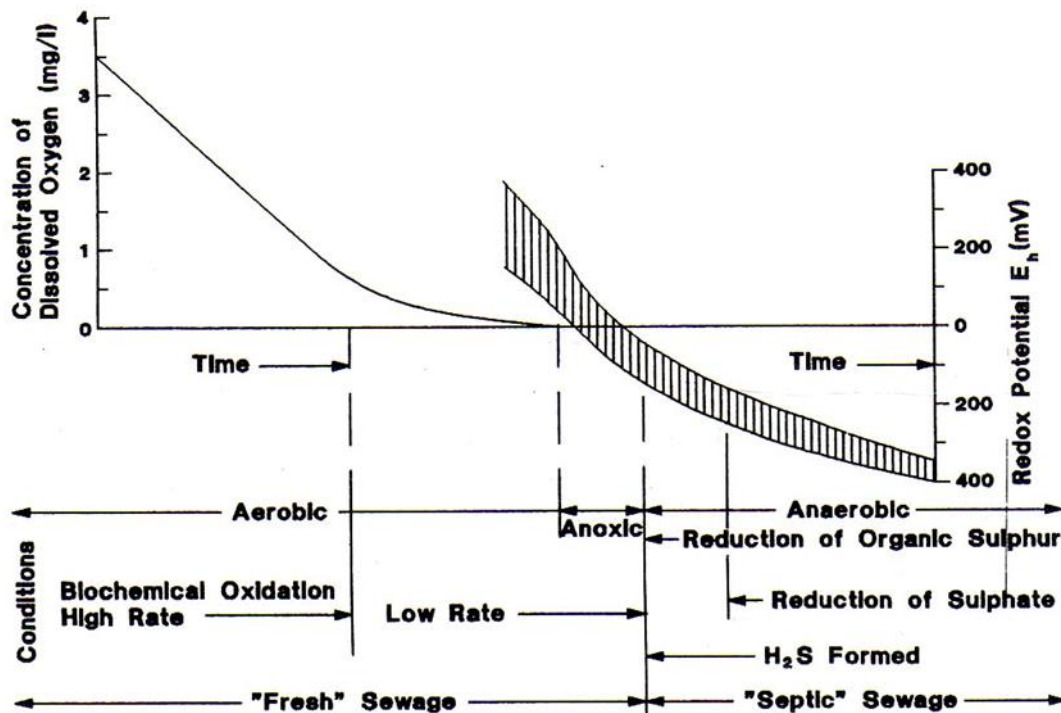


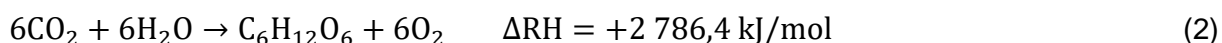
Figura 2 – A variação na condição do esgoto em relação com a concentração de oxigênio dissolvido e potencial redox. Fonte: BOON, 1995.

Devido a esses problemas causados à saúde humana, há uma necessidade de evitar a geração de gás sulfídrico em excesso, reduzindo a geração de maus odores no processo de tratamento da AC. Considerando que, muitas vezes, as ETAC estão localizadas próximo às residências, é importante atentar ao fato de que elas podem causar esse problema, gerando desconforto ao usuário.

### 3.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

#### 3.4.1 Água e energia

A água e a energia são fatores preponderantes à vida na Terra, estando intimamente interligados. É possível visualizar melhor essa inter-relação através da observação do processo de fotossíntese das plantas. Para que as plantas realizem a fotossíntese é necessário tanto água quanto energia. O primeiro componente, serve para carregar os nutrientes, controlar a temperatura e fazer parte da reação. Já o segundo, serve para que a reação aconteça (CORNEL, 2012). A Equação 2 abaixo demonstra essa reação de forma mais visual:



Outra forma de percepção é a necessidade de água para produzir combustível e energia, como a fabricação do biodiesel e a energia gerada pelas hidrelétricas. De forma contrária, é necessária energia para se produzir água, seja para bombeá-la ou para realizar o tratamento desta, fazendo com que chegue às residências e indústrias com a qualidade desejada (CORNEL, 2012). No Brasil, essa relação é mais perceptível, pois boa parte da energia consumida em nosso país vem das hidrelétricas e em momentos de escassez de água, próximo a essas fontes geradoras de energia, faz-se necessário o controle no consumo de água para que o abastecimento de energia continue.

Em termos de demanda de energia, para o tratamento de água são necessários cerca de 0,03 a 7 kWh/m<sup>3</sup> de água. Esse valor varia nessa faixa a depender das condições climáticas do local, da densidade populacional e do tipo de tratamento (LAZAROVA et al., 2012). Guanais et al. (2015), em seu trabalho quantificou a demanda acumulada de energia para o sistema de abastecimento de água na cidade de Feira de Santana – BA, encontrando o valor de 3,51 kWh/m<sup>3</sup> de água entregue nas residências. Esse valor considerou apenas a fase de operação do sistema, sem levar em conta a implantação e construção das estações de tratamento e o sistema de coleta. Com a Tabela 5 é possível ter mais noção da quantidade de energia incorporada em todo ciclo urbano da água.

**Tabela 5** – Variações do consumo de energia no ciclo da água na Califórnia e na Alemanha

Consumidores finais de água		Califórnia, EUA		Alemanha	
		kWh/m <sup>3</sup>	kWh/ (cap.ano)	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/ (cap.ano)
<b>Água</b>	Fornecimento e transporte	0,00 a 1,06	0 a 106	0,12 a 1,13	5 a 50
	Tratamento	0,03 a 4,23	3 a 423		
	Distribuição	0,18 a 0,32	18 a 32	0,03 a 0,58	1 a 26
<b>Consumidores finais</b>	Residências	~11	~2000	~21 <sup>1</sup>	~950 <sup>1</sup>
<b>Esgoto</b>	Coleta, tratamento	0,29 a 1,22	29 a 1222	0,39 a 0,83	32 a 75

(1) Energia total para aquecimento de água em residências particulares na Alemanha, dividida pelo consumo de água e população em 2007 (BDEW, 2008; FEDERAL STATISTICAL GERMANY, 2009).  
Fonte: LAZAROVA et al., 2012.

A Agência Internacional de Energia, divulgou em seu trabalho, no ano de 2014, que a produção de energia limpa e de combustíveis fósseis, é responsável por 15% do uso mundial de água. De acordo com os dados da agência, foram utilizados 583 bilhões de metros cúbicos de água, pelo setor de energia, em 2010. Desse total, o valor de consumo que não voltou a suas fontes, é de 66 bmc. A agência estima que a quantidade de água utilizada irá aumentar em 20% entre 2010 e 2035 (MENDONÇA, 2014).

O Quadro 1 mostra a necessidade da água em cada processo de geração de energia e seu respectivo impacto na natureza, sendo perceptível a forte ligação entre esses dois recursos.

**Quadro 1** – Uso da água para produzir energia e as consequências de seu uso

<b>Produção Primária de Energia</b>	<b>Uso da água</b>	<b>Potencia impacto na qualidade da água</b>
<b>Óleo e Gás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfuração, acabamento de poços e fraturamento hidráulico.</li> <li>• Injeção no reservatório em recuperação de óleo secundário e melhorado.</li> <li>• Mineração de areias petrolíferas e recuperação in-situ.</li> <li>• Atualização e refinação de produtos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação por infiltração de rejeitos, fluidos de fraturação, refluxo ou água produzida (águas superficiais e subterrâneas).</li> </ul>
<b>Carvão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte e supressão de poeira em mineração e transporte.</li> <li>• Lavagem para melhorar a qualidade do carvão.</li> <li>• Re-vegetação de minas de superfície.</li> <li>• Transporte de longa distância via suspensão de carvão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação por infiltração de rejeitos, drenagem de minas ou água produzida (águas superficiais e subterrâneas).</li> </ul>
<b>Biocombustível</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrigação para o crescimento de culturas de matéria-prima.</li> <li>• Moagem, lavagem e resfriamento no processo de conversão do combustível.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas residuais produzidas pela refinação.</li> <li>• Contaminação por enxofre, fertilizantes, pesticidas e sedimentos (águas superficiais e subterrâneas)</li> </ul>
<b>Geração de Energia</b>		
<b>Térmica (Combustível fóssil, Nuclear e Bioenergia)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentação da caldeira, a água utilizada para gerar vapor ou água quente.</li> <li>• Arrefecimento para condensação a vapor.</li> <li>• Limpeza de poluentes usando equipamento de controle de emissões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação térmica por descarga de água de arrefecimento (água superficial).</li> <li>• Emissões atmosféricas que poluem a água a favor do vento (águas superficiais).</li> <li>• Descarga da purga da caldeira que contém sólidos em suspensão.</li> </ul>
<b>Energia solar e geotérmica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxos do sistema ou alimentação da caldeira, a água utilizada para gerar.</li> <li>• Arrefecimento para condensação a vapor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição térmica por descarga de água de arrefecimento (águas superficiais).</li> <li>• Impacto nos ecossistemas aquáticos.</li> </ul>
<b>Hidrelétrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração da eletricidade.</li> <li>• Armazenamento em reservatório (para operação de barragens)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração da temperatura da água, do volume de escoamento e dos ecossistemas aquáticos.</li> <li>• Perdas por evaporação do reservatório</li> </ul>

Fonte: Agência Internacional de Energia, 2012.



Devido a essa relação, não se deve focar, apenas, na qualidade do tratamento das águas de reúso e na quantidade de água que será reaproveitada, mas deve-se, também, medir e estudar a quantidade de energia incorporada à essa, a fim de identificar a sustentabilidade em reutilizá-la.

### **3.4.2 Energia incorporada à água cinza**

De acordo com Allen et al. (2010), não existe muita pesquisa com relação ao impacto energético no reúso de água cinza. O mesmo autor considera esse aspecto muito importante, pois, ao se implantar um sistema diferente do convencional, deve-se avaliar a energia incorporada a esse, a fim de considera-lo energeticamente mais eficiente ou não. Deve-se levar em consideração a captação, o tratamento, a distribuição, o tratamento do esgoto e seu descarte. Isso porque, reutilizar a AC diminui a quantidade de efluente descartado no sistema de esgoto e a quantidade de água consumida (ALLEN et al., 2010).

## **3.5 TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA**

Efluentes que têm como destino final algum tipo de reúso, devem passar por um tratamento para que possam atender às expectativas dos usuários e, principalmente, para que não comprometam a saúde dos mesmos, além de evitar a poluição ambiental (FRIEDLER et al., 2005; KHALAPHALLAH, 2012; MAY, 2009; SELLA et al., 2011; CHONG et al. 2015). Dependendo do efluente e do seu reúso final pós tratamento; poderá haver a necessidade de mesclar diferentes tipos de processos, para que a qualidade requerida seja alcançada (SELLA et al., 2011; LI, 2009; GROSS et al., 2008; MAY, 2009).

Outro aspecto necessário a ser levado em consideração no reúso deste efluente é a geração de odor e a presença de cor, já que esses fatores podem trazer baixa aceitabilidade por parte dos usuários, reforçando o fato da necessidade do tratamento desse efluente antes de seu reúso (COHIM et al. 2010).

Frente a essas afirmativas, buscam-se diversos tratamentos de água cinza (LI, 2009). Para a escolha do tratamento a ser empregado, deve-se levar em consideração o efluente a ser tratado, o destino que será dado a esta água; pós tratamento; a necessidade de manutenção, a frequência da mesma e se há necessidade de uma pessoa treinada para operar a ETAC ou não (WIDIASTUTI et al., 2008; DALLAS et al., 2004; SILVA et al. 2010; BEGOSSO, 2009;

BAZZARELLA, 2005).

Um fator que dificulta o dimensionamento de uma ETAC padrão é a diferença existente entre cada família e seus costumes criando uma grande variação na qualidade da AC de uma casa para outra (BEGOSSO 2009).

De acordo à ANA (2005) a água cinza deve passar pelos seguintes tratamentos:

1. Sedimentação;
2. Filtração;
3. Sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação; ou sistema aeróbio;
4. Desinfecção;
5. Correção de pH;

No tratamento da água cinza há necessidade de um pré-tratamento com o intuito de remover sólidos grosseiros, como cabelo e pano, seja ele através de gradeamento ou de alguma peneira, que retenha esses sólidos (BEGOSSO, 2009).

Os sistemas de tratamento de águas residuárias são divididos em dois grupos, os biológicos e os físico-químicos. A utilização de um ou de outro, ou mesmo a combinação deles, depende das características do efluente a ser tratado, a qualidade de saída exigida e a área disponível para a montagem do sistema de tratamento.

Os processos biológicos são divididos em anaeróbios e aeróbios. Os tratamentos aeróbios comumente usados são: lagoas facultativas, lagoas aeradas, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação, wetlands, lodos ativados e filtros aerados. Já os tratamentos anaeróbios mais comuns são: digestores de lodo, tanque sépticos, filtros anaeróbios, reatores de manta de lodo, reatores anaeróbios compartimentados e reatores de leite expandido ou fluidificado.

Um sistema anaeróbio que obteve sucesso no tratamento de AC foi o reator anaeróbio compartimentado (RAC) utilizado por Gonçalves et al. (2010) e Bazzarella (2005). Esse tratamento mostrou uma eficiência de 50% na remoção da DBO, sem a necessidade de utilizar energia.

O RAC é um tanque que possui diversas câmaras dispostas em série. O fluxo em cada câmara é vertical e ascendente. Em termos de processo, o reator compartimentado oferece a possibilidade de separar algumas fases do tratamento, como a digestão anaeróbia e a

decantação, proporcionando um menor fluxo de sólidos para o compartimento de sedimentação e, conseqüentemente, um efluente anaeróbio mais clarificado (BAZZARELLA, 2005).

Todavia, um sistema anaeróbio não pode caracterizar o tratamento de água cinza como única forma de tratamento, pois o mesmo - devido à sua natureza de degradação da matéria orgânica através do processo anaeróbio - gera maus odores, com a produção de gás sulfeto; esse problema foi evidenciado por Gonçalves et al. (2010) no seu RAC, sendo necessário o uso de algum processo aeróbio, como conseqüente, no sistema de tratamento, pois, no processo aeróbio da digestão da matéria orgânica não há formação de gases odoríficos, minimizando o problema do mau odor gerado no processo anaeróbio.

Um tratamento aeróbio comumente utilizado em efluente de água cinza é a filtração aeróbia. Os filtros aeróbios são reatores de leito fixo, onde ocorre um tratamento em duas etapas: uma etapa de retenção, envolvendo mecanismos físicos, e uma etapa de depuração, na qual predominam mecanismos biológicos. No início da operação de um filtro, as bactérias que nele se desenvolvem, serão responsáveis pelo seu tratamento biológico, retendo os microrganismos presentes na água (COHIM, 2006).

Esse tipo de tratamento é responsável por realizar o tratamento físico e microbiológico retendo sedimentos, microrganismos, nitrato e fosfato (SILVA et al., 2010; GONÇALVES et al. 2010). Esse tratamento é efetivo na remoção de sólidos; processo indispensável para a reutilização desta água para irrigação e descarga de vaso sanitário (BAZZARELLA, 2005). Gonçalves et al. (2010) obteve uma redução de sólidos de 50 mg SS/L para 10mg SS/L com a filtração terciária.

Referindo-se a sistemas de tratamento de água cinza para reúso, deve-se buscar a tecnologia apropriada, tendo-se em vista para qual finalidade será usado este efluente, quais características que a água bruta possui, as condições econômicas dos usuários, as condições de operações e a manutenção do sistema, para que se possa determinar o tratamento ideal a ser utilizado.

### 3.6 ACEITABILIDADE DA ÁGUA CINZA

A aceitação pública é um elemento crucial para determinar do sucesso ou do insucesso na implantação de um programa de reúso de água (MANCUSO et al., 2003). Para uma ampla

aceitação de projetos de reúso, é importante envolver o público desde a fase de planejamento até a implementação do projeto (HESPANHOL, 2002).

Os fatores mais preponderantes na não aceitação do reúso da AC são: o odor que possui, a quantidade de sólidos suspensos que darão um aspecto desagradável e o risco de se adquirir uma doença ao utilizar essa água (PO, NACARROW & KAERCHER, 2003). Esta aceitação diminui ainda mais, a medida em que essa água seja encaminhada para usos que impliquem um contato mais direto com o usuário (BROWN & DAVES, 2007).

A fim de normatizar as características físico-químicas e microbiológicas, da água de reúso, a NBR 13.969 de 1997 (Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação) traz o grau de tratamento, para uso múltiplo de esgoto tratado, que devem atender a seguinte classificação:

Classe 1: Lavagem de carros e outros usos com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólido dissolvido total inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.

Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.

Classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL.

Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L.

A Tabela 6 indica as qualidades físico química e microbiológico exigido pela norma de acordo com a classificação acima.

**Tabela 6** – Classificação das águas de reúso e suas características de acordo com a NBR13.969 de 1997

	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>	<b>Classe 4</b>
<b>SDT</b>	< 200 mg/L	-	-	-
<b>pH</b>	06 a 08	-	-	-
<b>Turbidez</b>	-	-	10	—
<b>Cloro residual</b>	0,5 a 1,5 mg/L	>0,5 mg/L	-	-
<b>OD</b>	-	-	-	>2,0 mg/L
<b>Coliforme</b>	<200	<500	<500	<5000
<b>fecal</b>	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL

Fonte: ABNT, 1997.

Alguns autores utilizam estes valores como comparativos e até mesmo como metas a serem alcançadas no tratamento da AC; no entanto, estes valores podem ser inviáveis de serem alcançados, devido ao custo necessário para implantar um tratamento que possa atingi-los.

No entanto, faz-se necessário avaliar a aceitabilidade por parte dos usuários, pois de nada vale alcançar o exigido na norma se os usuários não estão adeptos a implantarem os sistemas de reúso de AC em suas residências. Tendo em vista a necessidade de tornar o reúso de AC mais aceito pela população, torna-se indispensável um tratamento eficiente na remoção de microrganismos patogênicos, na remoção do odor e de sólidos em suspensão.

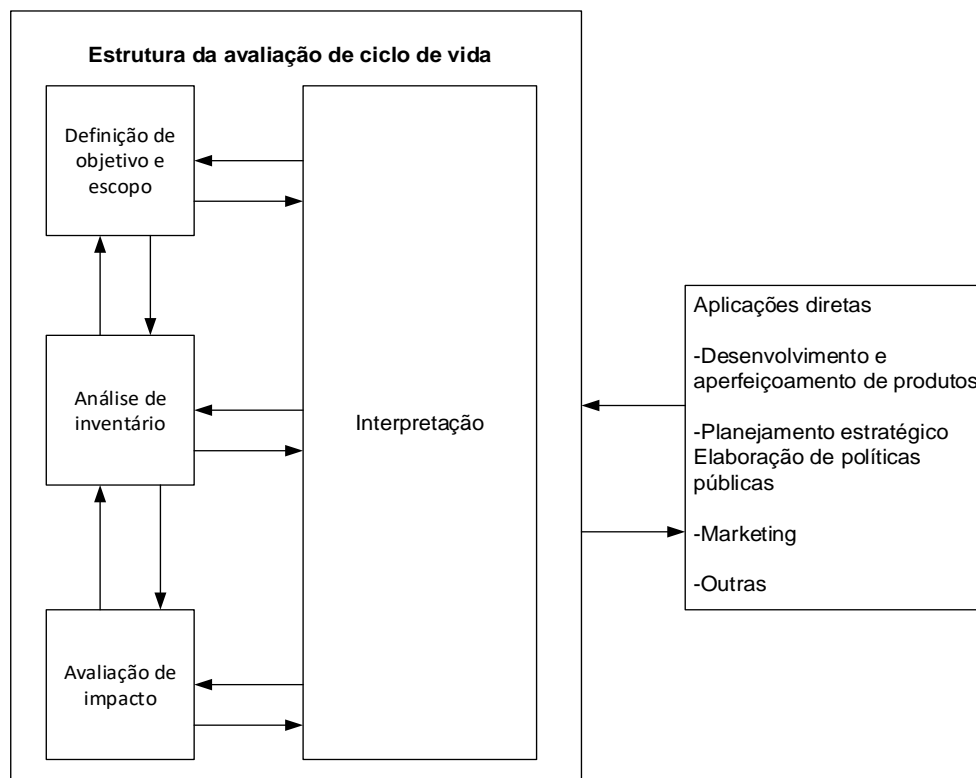
### 3.7 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

O ciclo de vida de um determinado produto tem sido objeto de estudo em diversos países, uma vez que o mundo se encontra num momento de crise ambiental, tendo como preocupações aspectos que compreendem desde a extração, o processo produtivo dos bens de consumo, o uso, até o posterior descarte (FERNANDES, 2009). Com base nisso surge a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que estuda os aspectos ambientais e os potenciais impactos ambientais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas (ISO 14.040:2009).

A ACV fornece aos tomadores de decisão informações sobre a imagem completa dos impactos de um produto para encontrar as melhores soluções para sua melhoria. A ACV também é igualmente eficaz na avaliação de processos (CURRAN, 2008). A primeira dessas avaliações foi criada por Harry Teasley, Jr. na Coca-Cola Company em 1970. A Coca-Cola decidiu entre a produção interna e a terceirização externa para as garrafas de vidro. A empresa também estava considerando a substituição de suas garrafas retornáveis por latas

descartáveis e estava examinando uma nova garrafa de plástico para seus refrigerantes, o desenvolvimento rápido de uma preocupação pública sobre o meio ambiente levou a empresa a explorar os impactos ambientais de suas opções de embalagem (DUDA, 1997)

Alguns dos impactos que podem ser avaliados através da ACV são: demanda acumulada de energia, aquecimento global, toxicidade humana, acidificação atmosférica, eutrofização aquática, salinização de terras (uso de terra), perda de biodiversidade (uso da terra) (NARAYANASWAMY et al., 2002). Para a avaliação desses impactos é utilizado a metodologia descrita na ISSO 14.040 a qual deve incluir a definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados, sendo possível verificar a inter-relação desses processos no fluxograma da Figura 3.



**Figura 3** – Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida. Fonte: ISO 14.040, 2009.

### 3.7.1 Cumulative energy demand (CED)

O CED é uma abordagem consistente, que quantifica o conteúdo energético de todos os recursos (renováveis e não renováveis). A abordagem do CED e os resultados dos indicadores de categoria de impacto computados com essa abordagem refletem o tema de

proteção aos recursos energéticos (FRISCHKNECHT, 2015). Dessa forma, é possível mensurar e avaliar o impacto energético em um determinado processo ou sistema, tornando possível desenvolver uma melhor estratégia para diminuir esse impacto.

De acordo com o Manual do banco de dados do SimaPro® (2016) os fatores de caracterização para os recursos energéticos são divididos em 5 categorias de impacto:

1. Não renovável, fóssil;
2. Não renovável, nuclear;
3. Renováveis, biomassa;
4. Renováveis, eólicas, solares, geotérmicas;
5. Renovável, hídrica.

A normalização não faz parte desse método. Sendo assim, para obter uma demanda de energia total ("cumulativa"), cada categoria de impacto recebe o fator de ponderação 1 (Pré Consultant, 2016). No banco de dados do Ecoinvent v.3.3 já existe a matriz energética brasileira e a mesma possui sua última atualização feita no ano de 2016.

A normalização é uma etapa opcional de avaliação de impacto em que os resultados dos indicadores de categoria são relacionados a uma situação de referência, fornecendo informação sobre sua significância relativa (Guanais, 2015). As informações de referência podem estar relacionadas a uma determinada comunidade, pessoa ou outro sistema, durante um determinado período de tempo (CURRAN, 2016).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA (ETAC)

Essa pesquisa tornou-se possível a partir do momento em que uma família se voluntariou para reutilizar a água cinza proveniente do chuveiro, máquina de lavar e lavatório de mão de sua residência. No entanto, para tornar esse reuso possível, foi necessário implantar um sistema de tratamento a esse efluente, utilizando-se para esse fim uma ETAC pertencente a UEFS. Essa estação foi escolhida, pelo fato de ter sido alvo de estudo por pesquisas anteriores, estar em boas condições e não estar sendo utilizada em nenhum outro projeto.

Dentre as pesquisas que utilizaram a referida ETAC estão as de Cohim (2007) e Silva (2013). Cohim (2007) avaliou o desempenho dessa estação no tratamento de água cinza em uma residência unifamiliar de classe média que possuía cinco habitantes. Já Silva (2013) avaliou o risco à saúde humana de se reutilizar a água cinza proveniente dos chuveiros do parque esportivo da UEFS/BA na descarga de vaso sanitário.

Pelos motivos acima, a ETAC, citada anteriormente, foi instalada em uma residência de alto padrão localizada na cidade de Feira de Santana – BA. A residência é habitada por dois adultos e duas crianças menores de sete anos, sendo que, uma dessas crianças necessita de fraldas.

Antes que a ETAC fosse instalada, foi necessário fazer um desvio na tubulação de esgoto da residência, com o objetivo de separar a água cinza proveniente dos chuveiros, lavatórios de mão e máquina de lavar das demais correntes do esgoto doméstico.

Para o tratamento da AC, foi necessário um pré-tratamento que utilizou uma caixa contendo uma tela de nylon com abertura de 1,6mm. Essa tela teve o objetivo de reter os sólidos grosseiros, como cabelo e tecido. Após passar por essa caixa, a água foi encaminhada para a ETAC, que trata a água através de um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) e um Filtro Intermitente Aeróbio (FIA).

O RAC possui seção quadrada de lados com 0,82 metros cada, com altura de 1,1 metros, e é dividido em quatro compartimentos de seção quadrada, com dimensões iguais a (0,4 m x 0,4 m). Esse reator foi enterrado e alimentado por fluxo ascendente em todos os compartimentos, possuindo a entrada do esgoto a 20 cm do fundo. No terceiro compartimento havia conduítes rugosos de diâmetro de 1,3 cm com comprimentos que variavam de dois a



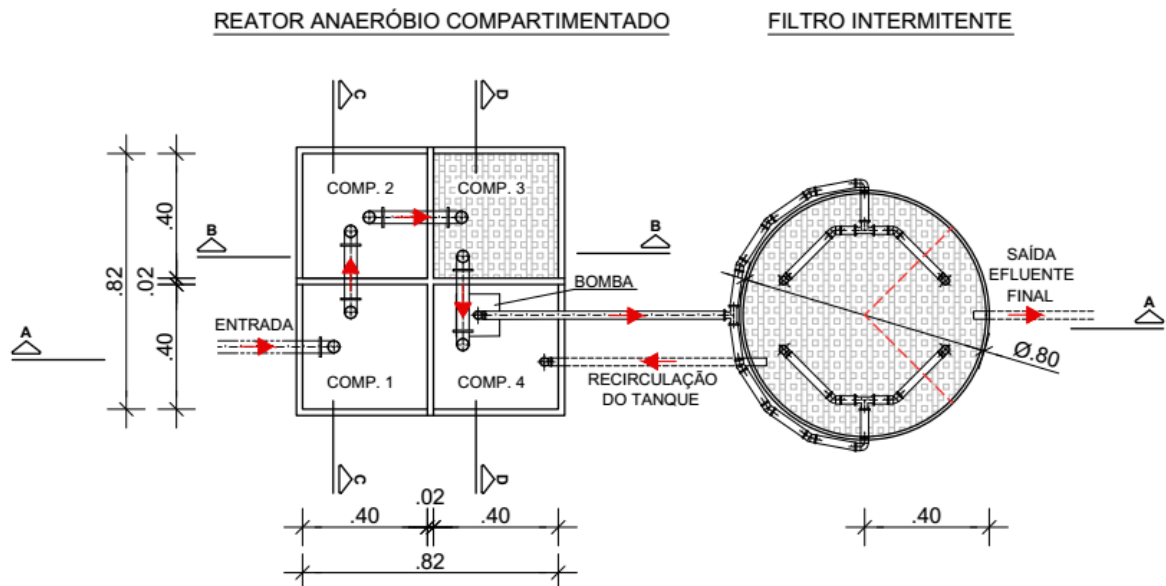
quatro centímetros. O tempo de detenção total do RAC foi de aproximadamente 12 h. O quarto compartimento atuou como uma câmara de dosagem, no qual havia uma bomba afogada que lançava doses de AC no FIA. Nesse compartimento havia ainda outra alimentação, para retorno de 74 % da água filtrada proveniente do FIA. Dessa forma, foi realizada a recirculação da AC no filtro intermitente, ampliando sua capacidade de tratamento.

O FIA atuou como o tratamento secundário da ETAC, uma vez que, suas principais funções foram: reduzir a quantidade de microrganismos na AC, reduzir a quantidade de sólidos suspensos e evitar a presença de maus odores na água tratada.

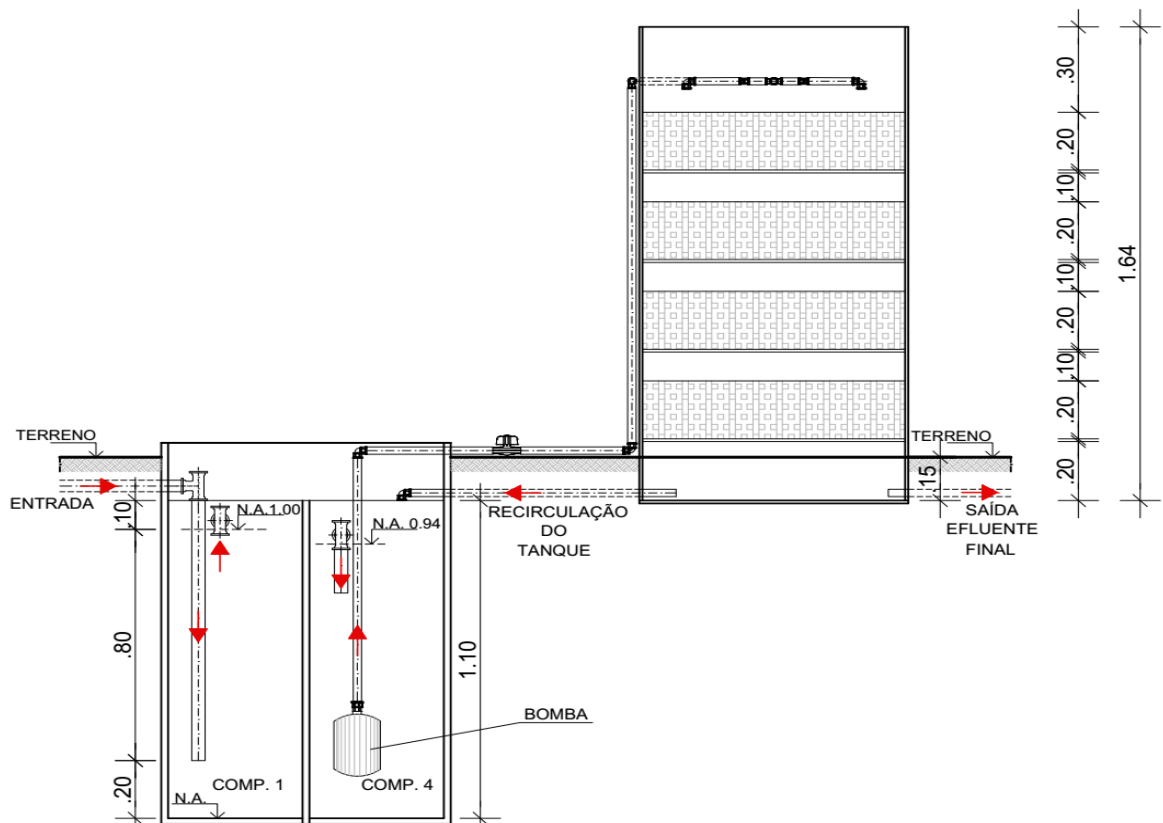
Esse filtro possui seção circular com diâmetro de 0,8 m e altura de 1,64 m e área da seção transversal de 0,5 m<sup>2</sup>. Sua alimentação foi realizada pela parte superior e contou com uma distribuição uniforme da água lançada nele. O filtro foi dividido em quatro camadas iguais com 0,2 m de espessura, compostas por geotêxtil e entre cada camada haviam espaços vazios de 0,10 m, onde orifícios permitiam a entrada de ar, tornando o processo aeróbio.

O geotêxtil foi cortado em pedaços quadrados com largura e comprimento de 5 cm e espessura de aproximadamente 1,7 mm. Para aumentar e melhorar o desempenho do FIA, no fundo desse foi feita uma divisão do fluido filtrado, na qual, 74 % da AC retornou para a câmara de dosagem, realizando a recirculação da mesma e 26 % seguiu como efluente final tratado.

A bomba aplicou 60 doses diárias no FIA, uma a cada 20 minutos e com duração de 5 minutos cada, com exceção no horário das 0 h às 6 h, onde o sistema aplicou uma dose a cada hora com duração, também, de 5 minutos cada. Com esse procedimento, ao todo eram lançados um total de aproximadamente 95 litros de AC por dose. Sendo que, aproximadamente 25 % desse valor eram de efluente final (25 L) e 75 % retornavam para o RAC (70 L). O volume total de água que passou pelo FIA diariamente ficou em torno de 5,7 m<sup>3</sup>, com capacidade de tratar um volume máximo de 1,5 m<sup>3</sup> ou seja, uma taxa de aplicação de 3,0 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).dia. Para que ocorresse essa dosagem, foi utilizada uma bomba, ligada a um timer, que realizou esse controle. Após a implantação da ETAC, houve um período de aclimação de 4 a 6 semanas para a maturação do biofilme na superfície do material filtrante. A Figura 4 e a Figura 5 representam a estação:



**Figura 4** – Estação de tratamento de água cinza, vista superior. Comp. – Compartimento. (valores em metros)  
Fonte: Próprio autor.



**Figura 5** – Estação de tratamento de água cinza, corte A-A. (valores em metros) Fonte: Próprio autor.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA BRUTA E TRATADA

A água cinza foi caracterizada com o intuito de avaliar a capacidade de tratamento da ETAC e cumprir com os objetivos desse trabalho. A coleta das amostras seguiu as normas NBR

9898 (Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores) e NBR 9897 (Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento). A ACB foi coletada no primeiro compartimento do RAC e a ACT foi coletada na saída final do FIA, como mostra a Figura 6.

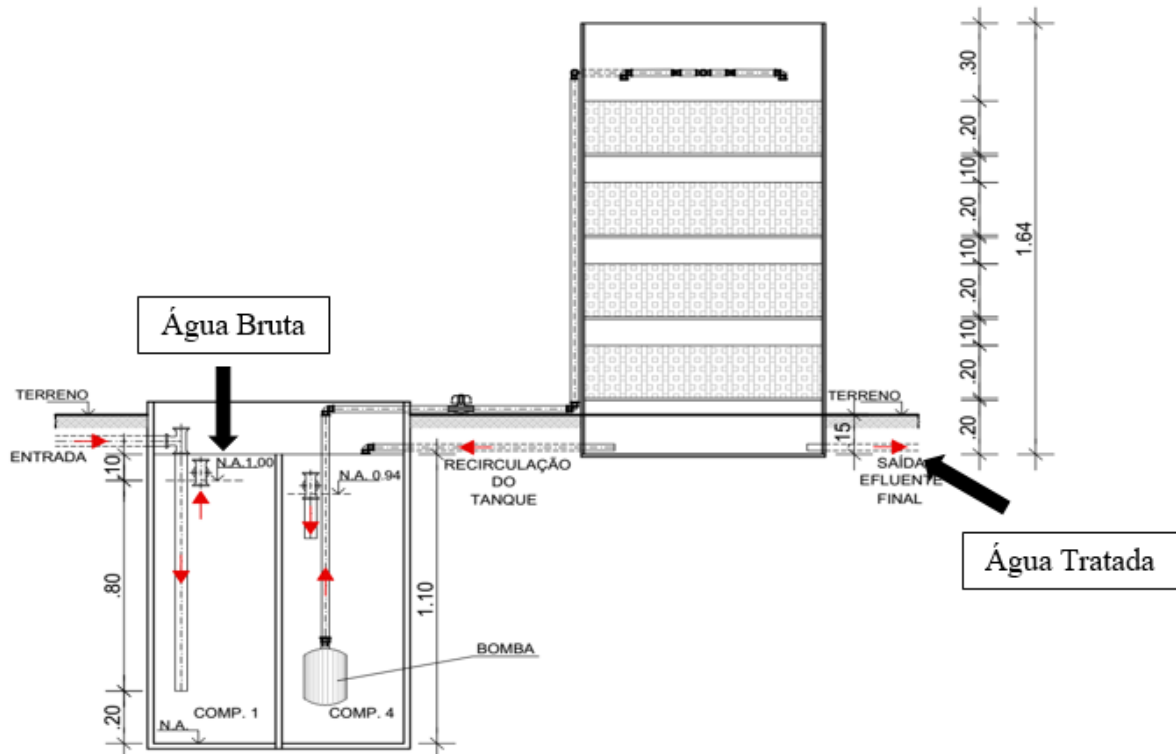


Figura 6 – Pontos de coleta. Fonte: O autor.

#### 4.2.1 Análise físico-química

As análises físico-químicas realizadas foram: pH, ORP, OD, condutividade, temperatura, cor, DBO e DQO.

As análises de pH, ORP, OD, Temperatura, DBO e DQO serviram para avaliar o potencial de geração de odor da água cinza bruta e da tratada, quando essas forem armazenadas por um período de no máximo 216 horas (9 dias). Essa avaliação é necessária pois poderá haver pouco uso em algum vaso sanitário da residência devido aos costumes da família, além da possibilidade da água ficar armazenada no reservatório de ACT, quando a família se ausentar da residência.

Para medir os parâmetros: pH, ORP, OD, condutividade e temperatura; um teste de armazenamento conduzido, no qual a água cinza bruta ficou confinada em um recipiente

fechado e opaco volumado de 3L por 216 horas. Da mesma forma, a água cinza tratada ficou passiva desse mesmo modelo de ensaio e os resultados foram medidos pela sonda multiparamétrica (YSI professional plus). Após a coleta as medições foram realizadas com espaçamentos de tempo listado na Tabela 7 a seguir:

**Tabela 7** – Quantidade de medidas realizadas e o espaço de tempo entre a coleta e a respectiva medição

Medição n <sup>o</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tempo (h)	0	8	24	48	72	96	120	144	168	192	216

Fonte: Próprio autor.

Para a medição da DBO foi usado o método do livro Standard Methods do capítulo 5210 B (5-Day DBO Test), enquanto que para a medição de DQO o método utilizado foi do mesmo livro no capítulo 5220 B (Open Reflux Method). O ensaio de DBO foi repetido 6 vezes, no entanto devido a um defeito no equipamento que realizava o ensaio de DQO, a mesma foi medida apenas uma única vez.

A cor foi medida para cumprir com o objetivo de avaliar os aspectos estéticos da água cinza. Para a medição da cor foi utilizado um colorímetro; as amostras para esses ensaios foram coletadas no mesmo dia que a coleta para o teste de armazenamento; esse ensaio foi repetido 10 vezes.

#### 4.2.2 Análises microbiológicas

Este trabalho analisou a quantidade da bactéria *Escherichia coli*, presentes tanto na água cinza bruta quanto na tratada. Para isso foi utilizada a técnica do substrato cromogênico enzimático Colilert descrita no livro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19<sup>a</sup> Edição (APHA et al., 1999) na parte 9223b. Este ensaio foi repetido 30 vezes.

#### 4.3 ODOR

Um fator que pode causar a não aceitação no reúso de água cinza para fins domésticos não potáveis é a presença de maus odores na água, por isso faz-se necessário avaliar a capacidade da água cinza em gerar gases que possuem mau cheiro.

Durante o processo de tratamento da água, há a possibilidade da geração do gás H<sub>2</sub>S. Esse

gás possui um odor bem desagradável e é o principal causador de maus odores nas águas de reúso. Sabendo que esse gás é gerado na fase anaeróbia do processo de decomposição da matéria orgânica e sendo possível verificar se a decomposição está no estágio anaeróbico ou não, pois, a Figura 7, mostra que quando o ORP atinge valores inferiores a -100 mV, o processo de digestão da matéria orgânica se encontra em um estado anaeróbico.

Sendo assim, o ORP coletado no ensaio do teste de armazenamento servirá para determinar o potencial de geração de maus odores no reúso da água cinza bruta e tratada, quando essas estiverem armazenadas pelo período especificado na Tabela 7. Para valores de ORP na água cinza abaixo de -100 mV, foi considerado que essa amostra apresentava o potencial de gerar maus odores.

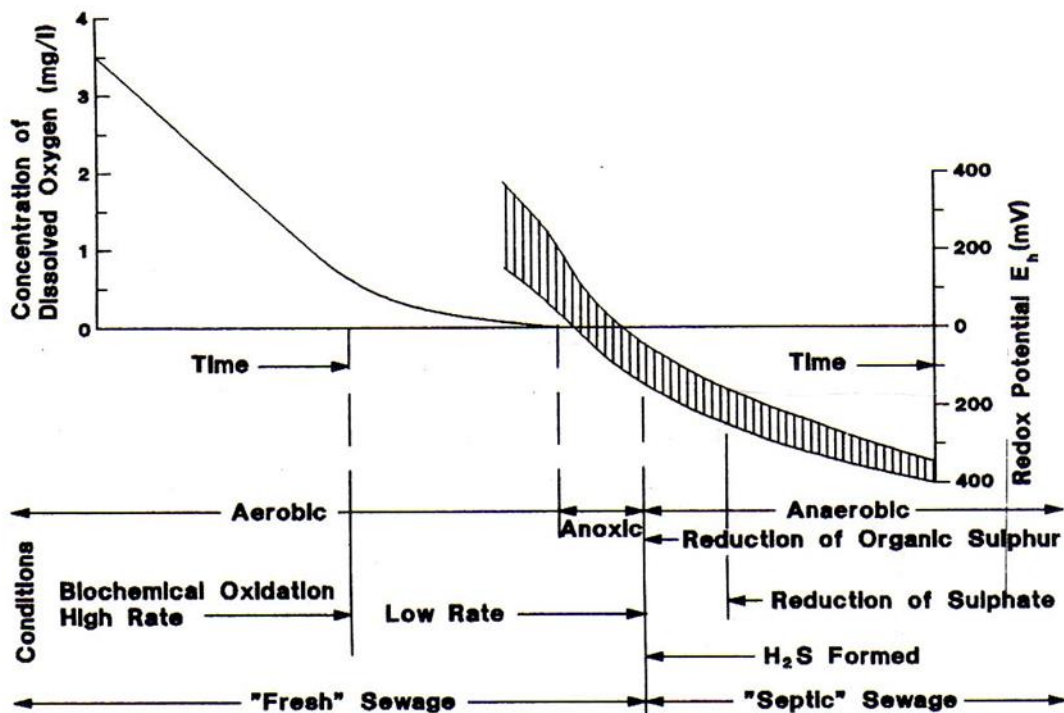


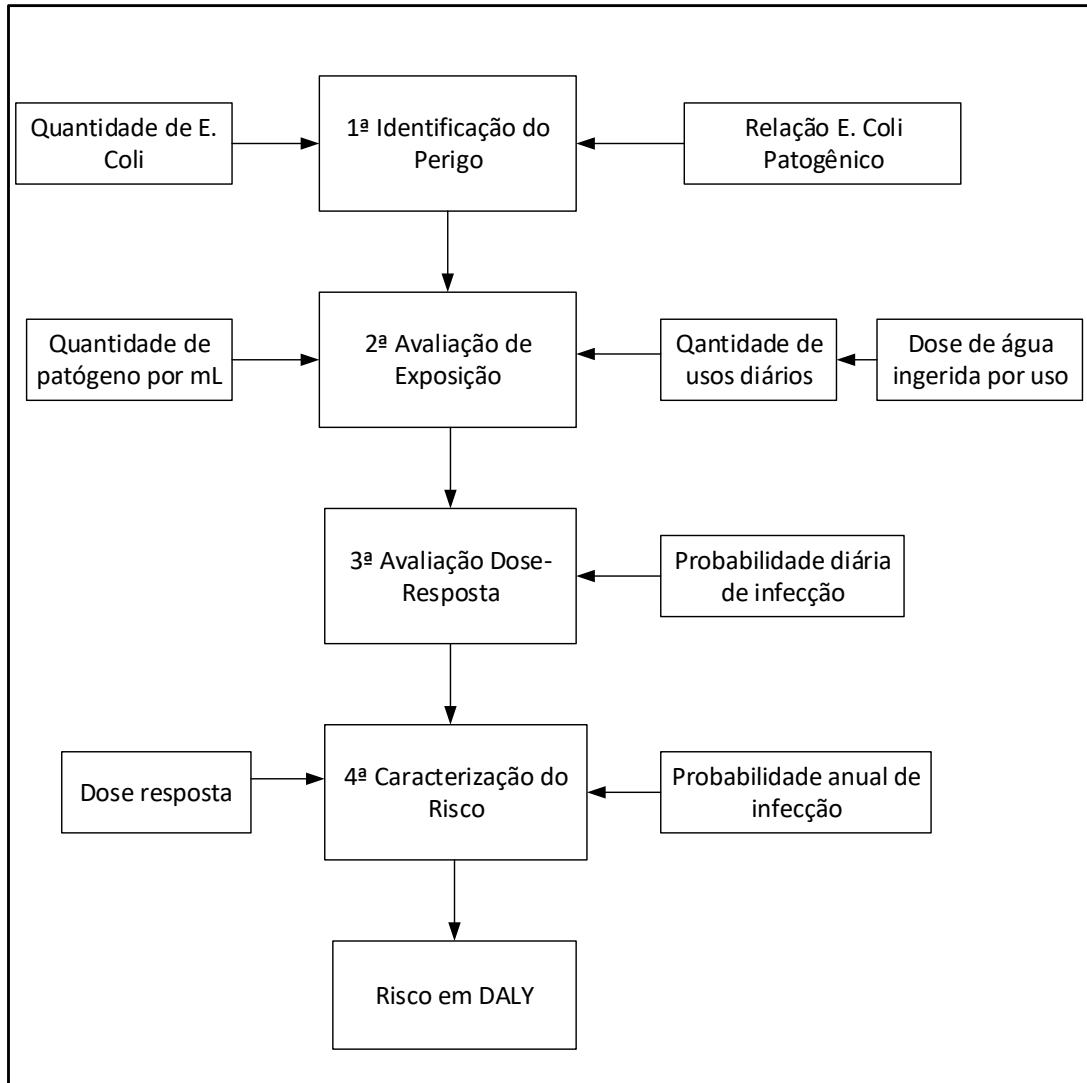
Figura 7 – A variação na condição do esgoto em relação com a concentração de oxigênio dissolvido e potencial redox. Fonte: BOON, 1995.

#### 4.4 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM)

Nesse trabalho destaca-se a atividade de reúso da água cinza, contudo para que se possam estabelecer práticas seguras de reúso, é necessário ponderar os riscos associados à exposição rotineira dessa fonte alternativa, uma vez que ela não está isenta de contaminação.

Para o cálculo do risco no reúso desse efluente foi utilizado a metodologia da AQRM. Essa

avaliação é um processo probabilístico formal para estimar o risco microbiológico, uma ferramenta útil à medida que permite a expressão de uma forma quantitativa, permitindo uma avaliação mais precisa desse risco. Essa análise probabilística é dividida em quatro etapas, como mostra o fluxograma abaixo.



**Figura 8** – Fluxograma da metodologia da AQRM. Fonte: Próprio autor.

#### 4.4.1 Identificação de perigo

Essa etapa tem como objetivo a descrição de microrganismos específicos e os efeitos agudos e crônicos que eles têm sobre a saúde humana. A água cinza pode apresentar microrganismos patogênicos das famílias das bactérias, dos vírus e dos protozoários. Por esse fato será realizada uma AQRM para os patógenos Rotavírus, Campylobacter e Cryptosporidium, pois, de acordo com a World Health Organization (WHO), em seu trabalho do ano de 2006, considera esses organismos os piores casos de doenças transmitidas pela

água das famílias dos vírus, das bactérias e dos protozoários, respectivamente (ASBOLT, 2005; AHMED et al., 2005).

Embora deva ser realizada uma avaliação de risco com dados diretos da quantidade de microrganismos a serem analisados, há diversas dificuldades encontradas para obter esses dados, sendo um dos fatores limitantes o custo de obtenção. Sendo assim, a densidade de organismos patogênicos foi estimada a partir da relação entre organismo indicador e patógeno, essa técnica foi utilizada por Ahmed et al. (2005).

Inicialmente, por meio das análises microbiológicas, foi medido a quantidade de indicadores presentes em 100 ml de AC e esses valores foram submetidos a um tratamento estatístico que obedeceu a uma distribuição Log-normal (OTTOSON; STENSTRÖM, 2003). De acordo a Ahmed et al. (2005), a relação entre indicador e patógeno obedece, também, a uma distribuição Log-normal, pois, essa é capaz de descrever distribuições de variáveis que não assumem valores negativos e se apresentam positivamente assimétricas.

Por esse motivo, a densidade de organismos patogênicos na água cinza foi estimada a partir da abordagem adotada por Ahmed et al. (2005) e a quantidade de indicador para cada unidade de microrganismo patogênico segue a relação indicada na Tabela 08.

Na Tabela 8 está descrito os valores dos percentis (5%, 50% e 95%) da curva que relaciona a quantidade de bactéria indicador (*E. coli*) por unidade de microrganismo patógeno, os valores seguem uma distribuição log-normal. Esses valores passaram por um tratamento estatístico de Monte Carlo com 10.000 iterações e multiplicado pela quantidade de indicador medido; sabendo que os valores de indicador também passaram por um tratamento estatístico de Monte Carlo com 10.000 iterações; resultando na quantidade de microrganismo patogênico por 100 ml de AC.

**Tabela 8** – Relação quantidade de *E.coli* para 1 organismo patogênico

Organismo	Percentil (quantidade de indicador/1 patógeno)		
	5%	50%	95%
Rotavirus	$1,00 \times 10^4$	$1,00 \times 10^5$	$1,00 \times 10^6$
<i>Campylobacter</i>	$1,00 \times 10^4$	$1,00 \times 10^5$	$1,00 \times 10^6$
<i>Cryptosporidium</i>	$1,00 \times 10^5$	$1,00 \times 10^6$	$1,00 \times 10^7$

Fonte: AHMED et al., 2005.

#### 4.4.2 Avaliação da exposição

O propósito da avaliação da exposição é determinar a dose do microrganismo ingerido em cada evento de exposição e a frequência das prováveis vias de exposição (HAAS et al., 1999).

Inicialmente, avaliou-se o volume de água ingerida em cada exposição de acordo com os usos propostos (irrigação de jardim e descarga de vaso sanitário). Para o volume ingerido, foram adotados valores de outros autores que estão listados na Tabela 9, as variações desses volumes seguiram as distribuições indicadas na mesma tabela:

Tabela 9 – Dose de AC ingerida por uso

Uso Considerado	Volume de Ingerido (ml)	Frequência de uso #/ Dia	Referência
<b>Irrigação de jardim</b>	Distribuição triangular Min 0,01 Moda 0,1 Máximo 0,5	Distribuição Normal: Min* 0 Mediana* 3 Máximo* 7 (Consideração realizada)	Ashbolt et al. (2005)
<b>Descarga vaso sanitário</b>	Distribuição triangular Min 0,01 Moda 0,1 Máximo 0,5	Distribuição Triangular Min 2 Médiana 4 Máximo 6 (Consideração realizada pelo autor)	Ashbolt et al. (2005)

\*Frequência de uso semanal  
Fonte: Próprio autor.

Em seguida, foi calculada a dose diária de microrganismo ingerido para cada uso, definida pelo produto entre o volume de água ingerido e a concentração de patógenos presentes na água cinza, como mostra a Equação 3. Com exceção ao reúso na irrigação, pois, devido à baixa frequência de uso, foi feito o cálculo de dose semanal

$$d = \frac{N}{100} \cdot V_{ing} \cdot f \quad (3)$$

Onde:

d = dose diária de microrganismo ingerido para cada uso;

N = dose de microrganismo patogênico presentes em 100 ml de ACT;

$V_{ing}$  = volume de ACT ingerida por reúso (ml);

f = frequência diária de reúso.



#### 4.4.3 Avaliação dose-resposta

Para a realização dessa etapa foi calculado a probabilidade de infecção diária (lembrando que para irrigação foi calculada a probabilidade de infecção semanal) para cada uso, a partir das bases metodológicas de Haas (1999). A relação dose-resposta é uma caracterização matemática da associação entre a dose ministrada e a probabilidade de infecção na população exposta. Existem dois modelos matemáticos comumente utilizados nessa etapa da AQRM e o modo a ser utilizado é definido de acordo com o patógeno escolhido, já que cada tipo de microrganismo se ajusta a um modelo ideal. O Modelo Exponencial (Equação 4) se ajusta melhor na avaliação do *Cryptosporidium*, já para o Rotavírus e o *Campylobacter* foi utilizado o Modelo Beta-Poisson (Equação 5). Na Tabela 10 estão listados os parâmetros para cada microrganismo patogênico.

$$P_{\text{inf}} = 1 - e^{-r \cdot d} \quad (4)$$

$$P_{\text{inf}} = 1 - \left[ \frac{1 + (d/N_{50})}{2^{(1/\alpha) - 1}} \right]^{-\alpha} \quad (5)$$

Onde:

$P_{\text{inf}}$  = probabilidade diária de infecção;

$r$  = constante de probabilidade de início de infecção por um único organismo;

$N_{50}$  = dose infecciosa mediana;

$\alpha$  = parâmetro de inclinação;

$d$  = dose diária de microrganismo ingerido para cada uso.

**Tabela 10** – Parâmetros das curvas dose-resposta

Organismo	Parâmetro		
	$r$	$A$	$N_{50}$
<b>Rotavirus</b>	-	0,25	6,2
<b><i>Campylobacter</i></b>	-	0,15	896
<b><i>Cryptosporidium</i></b>	0,004	-	-

Fonte: HAAS, 1999.

#### 4.4.4 Caracterização do risco

A caracterização do risco combina as informações previamente obtidas com a finalidade de estimar os efeitos adversos à saúde em um período de tempo (um ano), já que os dados de

avaliação de dose-resposta refletem uma condição diária de exposição e, portanto, a probabilidade de infecção diária para cada uso.

Foi feito o cálculo do risco anual do indivíduo se infectar ao reutilizar a AC para os fins pré-estabelecidos anteriormente, para isso foi utilizado a Equação 6:

$$P_a = 1 - (1 - P_{inf})^n \quad (6)$$

Onde:

$P_a$  = probabilidade anual de infecção;

$n$  = número de dias em um ano (para o reúso na irrigação foi utilizado o número de semanas em um ano).

No entanto, nem toda pessoa infectada pelo patógeno fica doente, sendo necessário o cálculo da estimativa da probabilidade de se desenvolver a doença, através da Equação 7 (COHIM et al., 2007).

$$P_d = K \cdot P_a \quad (7)$$

Sendo,

$P_d$  = Probabilidade anual de uma pessoa infectada ficar doente;

$K$  = Relação doença/infecção do patógeno avaliado.

Os impactos na saúde identificados ainda serão quantificados em DALY, através da Equação 8, tornando-os passíveis de comparação com qualquer ação que cause a incapacidade de se viver normalmente devido à falta de saúde, seja uma lesão causada por um acidente, ou por causa de uma doença adquirida.

$$P_{d,DALY} = DALY \cdot P_d \quad (8)$$

Sendo,

$P_{d,DALY}$  = Risco em DALY de cada microrganismo patogênico para cada uso da ACT estudado nesse trabalho;

DALY = cargas em DALY do patógeno avaliado.

As respectivas cargas em DALY e a razão entre infecção e doença, para cada patógeno, são mostradas na Tabela 11:

Tabela 11 – DALY e razão dose-resposta

<b>Organismo</b>	<b>DALY</b>	<b>K</b>
Rotavirus países em desenvolvidos	0,026	0,05
<i>Campylobacter</i>	0,0046	0,7
<i>Cryptosporidium</i>	0,0013	0,3

Fonte: Mara, 2006.

Os dados foram lançados no software @Risk®, pois essa ferramenta auxiliará no cálculo probabilístico. Para esse cálculo será utilizado a simulação de Monte Carlo. Esse trabalho realizou 10.000 iterações para o cálculo do risco em DALY de cada microrganismo patogênico e para cada uso da ACT estudado nesse trabalho (irrigação de jardim e descarga de vaso sanitário).

#### 4.5 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

Para avaliar a energia incorporada a esse sistema, na produção de 1 m<sup>3</sup> de água cinza tratada foi realizado uma ACV baseada na NBR ISSO 14044 (200a) e NBR ISSO 14044 (200b) sendo essa avaliação realizada em quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação do impacto e interpretação dos resultados.

##### 4.5.1 Definição do objetivo e escopo da ACV

Os objetivos dessa ACV é avaliar a energia incorporada no tratamento da AC através da ETAC utilizada nesse trabalho e comparar a energia incorporada na água cinza tratada com a energia incorporada na água provinda da concessionária local (Feira de Santana – BA).

A realização desse ensaio se justifica pelo fato da energia ser um bom indicador ambiental, já que para produzi-la há a necessidade de consumir recursos ambientais, gerando, conseqüentemente, a degradação do meio ambiente, ou seja, quanto maior for o consumo energético maior será a degradação da natureza. Buscando analisar o impacto na natureza devido a produção de ACT e a busca por uma forma de tratamento mais sustentável vale avaliar a quantidade de energia incorporada nesse processo.

Para cumprir com o objetivo desse trabalho foi aplicado uma ACV de modelo atribucional, sendo necessário a realização de um inventário quantificando todo o material utilizado na produção e instalação da ETAC e a devida medição da quantidade de energia consumida na produção da ACT. Vale ressaltar que a energia medida é a energia entregue, sendo necessário transformá-la em energia primária, pois, para entregar uma determinada quantidade de energia dentro de uma residência é necessário produzir um valor maior. Para realizar essa conversão foi utilizado os dados do Ecoinvent V 3.3 que determina o fator de conversão igual a 2,13 kWh/kWh entregue.

#### 4.5.1.1 Sistema estudado

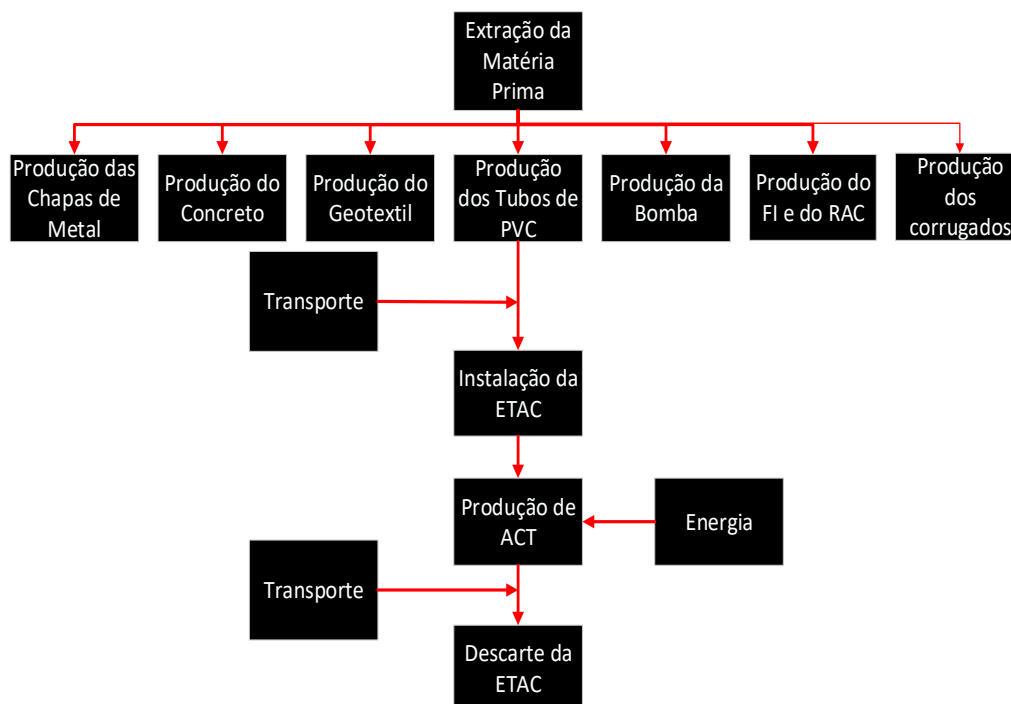
O sistema estudado foi a ETAC utilizada nesse trabalho, mencionada com detalhes no subcapítulo 3.1 desse trabalho.

#### 4.5.1.2 Unidade funcional

A unidade funcional adotada foi de 1 m<sup>3</sup> de água cinza tratada produzida.

#### 4.5.1.3 Fronteira do sistema

A fronteira do sistema foi desde a extração da matéria prima até o descarte final de toda a ETAC, considerando a produção do material, a instalação dos mesmos, o transporte e a produção da ACT, ou seja, a fronteira do sistema foi do berço ao túmulo, como é representado pela Figura 9 abaixo:



**Figura 9** – Fluxograma da fronteira do sistema avaliado. Fonte: O autor.

Foram excluídos os fios utilizados e o dispositivo que controlava a programação de ligar e desligar da bomba, pois, a soma destes itens não alcançou nem mesmo 1% do total do material utilizado na ETAC tornando irrisório o impacto dos mesmos. Outro fato que levou a excluí-los é a complexidade de mensurá-los já que são feitos de diferentes tipos de materiais.

#### 4.5.2 Metodologia da avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

O método utilizado nesse trabalho foi o Cumulative Energy Demand (CED) já que este método avalia a energia primária incorporada no sistema, cumprindo dessa forma, com o objetivo desse trabalho de avaliar a quantidade de energia incorporada no sistema de tratamento doméstico de água cinza. Esse método está presente no banco de dados do Ecoinvent V. 3.3, o qual foi utilizado nesse trabalho.

#### 4.5.3 Tipo e fonte de dados

Os dados foram, em sua maioria, coletados diretamente, através de medições. Os tubos e conexões foram pesados diretamente em balanças de precisão, o geotêxtil e os corrugados foram colocados em vasos com volumes conhecidos e pesados, como o volume total era

conhecido foi calculado o peso total. Para a fibra de vidro que compõe a ETAC o peso foi calculado através do volume total de fibra de vidro que a compõe e multiplicado pelo peso específico da mesma, itens menores, feitos de fibra de vidro, como por exemplo, os espaçadores das camadas do FIA, foram pesados. A energia foi medida utilizando um medidor específico e a água cinza tratada produzida foi medida através de um hidrômetro colocado na saída do FIA.

Os transportes das fábricas para o local de instalação da ETAC foram calculados utilizando o mapa. Os valores das distâncias estão listados na Tabela 12. Foi considerado que o transporte vem cheio e retorna para a fábrica vazio.

**Tabela 12** – Distância dos fabricantes ao local de instalação da ETAC

<b>Produto</b>	<b>Localização</b>	<b>Nome</b>	<b>Distância / (km)</b>
Fibra de Vidro	Feira de Santana - BA	SAILER	119
Resina de Poliester	Feira de Santana - BA	SAILER	119
Concreto	Feira de Santana - BA	Massa Fort	5
Geotextil	São Paulo - SP	Bidim	1856
PVC	Rio Claro -SP	Tigre	1918
Polietileno	Rio Claro -SP	Tigre	1918
Aço	Simões Filho - BA	Gerdau	99
Bomba	Joinville - SC	Sneider	2434

Fonte: Próprio autor.

#### 4.5.3.1 Qualidade dos dados (Matriz Pedigree)

Para avaliar a qualidade dos dados foi utilizado a matriz pedigree expressa no Quadro 2, as incertezas avaliadas foram: a confiança na fonte, completeza, correlação temporal, correlação geográfica e correlação tecnológica. Cada incerteza receberá notas de 1 a 5 sendo 1 a melhor avaliação e 5 a pior, as avaliações dadas a cada incerteza está melhor descrita no Quadro 2.

Quadro 2 – Matriz pedigree

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5
Confiança na fonte	Dados verificados baseados em medidas	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativa qualificada ou dados derivados de informações teóricas	Estimativa não qualificada
Completeza	Dados representativos para um número relevante de empresas durante um período que permita eliminar flutuação	Dados representativos de >50% do mercado durante um período que permita eliminar flutuações	Dados representativos para uma fatia pequena de empresas, mas relevante para o mercado em estudo ou dados de mais de 50% de empresas por um curto período de tempo	Dados representativos para somente uma empresa relevante para o mercado considerado	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de empresas em um curto período de tempo
Correlação Temporal	Menos de 3 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 6 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 10 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 15 anos de diferença para o ano de referência	Data desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o ano de referência
Correlação Geográfica	Dados da área em estudo	Dados médios de uma área maior que a área de estudo	Dados de uma área menor que a do estudo ou dados de uma área similar	Dados de uma área com condições de produção ligeiramente semelhantes	Dados desconhecidos ou dados de área distinta a área de estudo
Correlação Tecnológica	Dados de empreendimentos, processos e matérias do estudo	Dados de processos e materiais alvo de estudo (ou seja, tecnologia idêntica) mas de empresas diferentes	Dados de processos ou materiais correlatos, mas mesma tecnologia ou dados de processos e materiais do estudo, mas de diferente tecnologia	Dado de processos ou materiais correlatos, mas diferente tecnologia ou dados de escala laboratorial e mesma tecnologia	Dados de processos ou materiais correlatos, mas com diferente tecnologia e em escala laboratorial

Fonte: PRÉ Consultant, 2016.

#### 4.5.3.2 Cálculo das entradas e saídas do inventário

Os dados de água cinza tratada produzida e o consumo energético na operação do sistema foram obtidos diretamente através de medidores de água e de energia. Assim, o medidor de energia foi instalado entre o quadro de controle e a fonte de energia da estação e o medidor de água foi instalado na saída do filtro intermitente aeróbio.

Os valores foram lidos diariamente, ao meio dia, exceto aos sábados, domingos e quando os moradores não estavam presentes na residência para receber o leiturista. Sendo que os dados acumulados nos dias em que não foram feitas as leituras, foram divididos pelo número de dias transcorridos.

Para o cálculo da ACV do sistema estudado foi utilizado o software SimaPro®. Os valores de entrada dos insumos que compõe a ETAC estão listados na Tabela 13 abaixo com suas respectivas unidades. Lembrando que esses insumos foram medidos diretamente, com exceção da bomba a qual foi obtido o valor do seu peso através do catálogo fornecido pelo fabricante.

Tabela 13 – Insumos que compõe a ETAC

Item	Quantidade	Unidade
Fibra de Vidro	9	kg
Resina de Poliester	28	kg
Concreto	0,05	m <sup>3</sup>
Geotextil	31	kg
Polietilene	74	kg
PVC	11	kg
Aço	8	kg
Bomba	5	kg
Transporte	476 030	kg.km

Fonte: Próprio autor.

Para o cálculo da ACV foi considerado a vida útil da ETAC sendo de 25 anos.

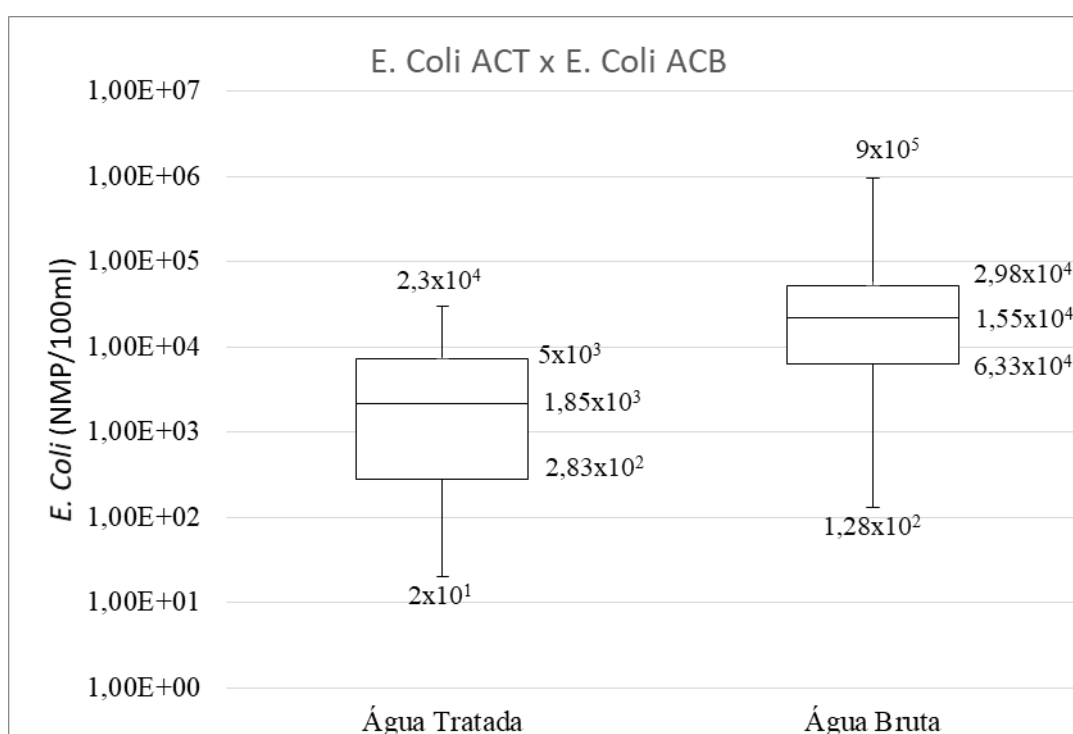


## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO (AQRM)

#### 5.1.1 Relação entre concentração de *E. coli* na água cinza tratada e a concentração de *E. coli* na água cinza bruta

A relação entre a concentração de *E. coli* na ACT e na ACB pode ser visualizada na Figura 10 a qual foi construída utilizando os valores encontrados nos ensaios microbiológicos.



**Figura 10** – Gráfico da concentração em NMP/100mL da quantidade de *E. coli* na água cinza tratada e na água cinza bruta. Fonte: Próprio autor.

Apesar do gráfico não demonstrar uma grande variação o teste t de médias foi realizado afim de verificar se há diferença entre as médias da concentração de *E. coli* na ACB e na ACT e o esse comprovou que as médias são diferentes. A Figura 10 também mostra que os valores da quantidade de *E. coli* da água cinza tratada são assimétricos tendo 50% dos valores menores que  $1,85 \times 10^3$  já a água cinza bruta possui um gráfico mais próxima da simetria possuindo 50% dos valores inferiores a  $1,55 \times 10^4$  como é possível perceber o gráfico da água tratada tende a valores inferiores aos da água cinza bruta pois o valor do 3º quartil da ACT é inferior a mediana da ACB. De acordo com a Figura 10 a ETAC conseguiu reduzir em sua maioria a quantidade de *E. coli* na ACB em uma ordem de magnitude a menos, ou seja, demonstrou capacidade em remover a bactéria.

Os resultados encontrados por Friedler & Gloss (2016) sugerem que a máxima concentração tolerável de *E. coli* estão em uma faixa máxima de concentração tolerável de  $10^2$  e  $10^4$  UFC/100ml, esses resultados foram obtidos através do cálculo inverso da AQRM utilizando os valores de risco determinados pela OMS (2006) e pelas diretrizes Australianas (NRMMC 2006). Se compararmos essa faixa com os valores obtidos é visível que os resultados obtidos da ACT estão, em sua maioria, dentro dessa faixa.

No entanto, alguns dias não tiveram êxito na remoção da *E. coli*, esses dias são explicados pelo uso da máquina de lavar que possui uma vazão média de 103 L por ciclo sobrecarregando a ETAC no momento em que a máquina de lavar roupas é utilizada, influenciando negativamente na capacidade de tratamento da ETAC. A estação demonstrou dias em que seu tratamento foi eficiente ao ponto de remover a bactéria *E. coli* em duas ordens de magnitude a menos do que o existente na ACB, chegando a valores mínimos demonstrados na Figura 10 de  $2 \times 10^1$ .

### 5.1.2 Resultados da Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico

A Tabela 14 e a Tabela 15 dispõem os resultados, em valores medianos e valores de 90% de percentil, que representam o risco em DALY no reúso da água cinza tratada para a irrigação de jardim e descarga de vaso sanitário.

**Tabela 14** – Risco em DALY no reúso de água cinza tratada para fins não potáveis (valores 50 % percentil)

	<b>Irrigação / DALY</b>	<b>Descarga de vaso / DALY</b>
<i>Campylobacter</i>	$2,0 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-6}$
Rotavírus	$2,8 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-5}$
<i>Cryptosporidium</i>	$5,7 \times 10^{-10}$	$5,5 \times 10^{-9}$
Total	$3,0 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-5}$
<b>Risco Total</b>		<b><math>3,2 \times 10^{-5}</math></b>

Fonte: Próprio autor

**Tabela 15** – Risco em DALY no reúso de água cinza tratada para fins não potáveis (valores de 90 % percentil)

	<b>Irrigação / DALY</b>	<b>Descarga de vaso / DALY</b>
<i>Campylobacter</i>	$5,6 \times 10^{-6}$	$5,8 \times 10^{-5}$
Rotavírus	$8,0 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-4}$
<i>Cryptosporidium</i>	$1,6 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-7}$
Total	$8,6 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-4}$
<b>Risco Total</b>		<b><math>7,7 \times 10^{-4}</math></b>

Fonte: Próprio autor.

Dentre os patógenos estudados (*Campylobacter*, *Cryptosporidium* e Rotavírus) o Rotavírus foi o que apresentou o maior impacto em DALY ao se reutilizar a água cinza, apresentando um risco de  $3,0 \times 10^{-5}$  DALY por pessoa por ano. Deve-se atentar para o fato de que esse valor está ligado a ETAC utilizada e o ambiente estudado. Com relação aos tipos de reúso, a descarga de vaso sanitário apresentou os maiores riscos.

A Organização Mundial da Saúde (2008), a Austrália e o Canadá em suas diretrizes de reúso de água definem a carga de  $10^{-6}$  DALY por pessoa por ano como o risco máximo tolerável para doenças transmitidas pela água. Se utilizarmos esse valor como comparativo o tratamento utilizado não foi capaz de tornar água cinza com qualidade microbiológica capaz de atender os critérios exigidos pela OMS, Austrália e Canadá. O Brasil não possui diretrizes que se baseiam no risco, apenas nas características da água e por isso não foi utilizado como comparativo.

Para que o risco de  $10^{-6}$  DALY seja alcançado ao se reutilizar a água cinza a quantidade de *E. coli* presente na mesma deve ser menor que  $1,14 \times 10^2$  NMP/100mL ou seja a ETAC deveria ter uma eficiência na remoção de microrganismos de 99 %, no entanto a mesma demonstrou uma eficiência de 88 %. Apesar da ETAC não ter alcançado os níveis de tratamento exigidos, é correto afirmar que a mesma não trabalhou em 100 % da sua eficiência, pois, devido ao uso exacerbado da máquina, em alguns dias do mês, gerava uma grande quantidade de água cinza em um período muito curto de tempo, o que, acabou acarretando no transbordando do RAC misturando as águas das 4 câmaras tornando o processo de tratamento do RAC, nesses dias, totalmente ineficiente.

No entanto, de acordo com Walker (2012), Vazquez (1999) e Moraes (2003) a quantidade de casos de diarreias em crianças menores de 7 anos no Brasil está compreendida entre uma faixa de 3 a 5 casos. Levando em consideração uma média de 4 casos torna possível converter a probabilidade doença em um aumento percentual de casos diarreicos, sendo assim, o aumento gerado pelo reúso da água cinza é de 0,0116 %. Levando em consideração a escala estabelecida por Westrell (2004) esse aumento no número de casos é insignificante, o que leva a pergunta: o valor de risco da OMS não é muito conservador?

Com relação ao risco encontrado por outros autores é necessário avaliar o Quadro 1, através do risco anual de  $3,2 \times 10^{-5}$  DALY.pppa-1 é possível compará-lo com os autores listados.

Os resultados encontrados por Pasin (2013), são os mais altos, pois, esse autor(a) considerou que todo *E. coli* encontrado na água cinza era patogênico o que acabou influenciando no

resultado de risco tão alto.

Os resultados de Cohim (2012); que utilizou os mesmos patógenos de referência, a mesma metodologia, a mesma ETAC e os mesmo usos finais, as diferenças foram, a quantidade de água cinza ingerida nos usos estudados que foram dez vezes menor do que a utilizada neste trabalho e o fato de que a estação estava implantada em uma residência com um padrão de vida mais baixo que a deste trabalho, dessa forma, Cohim (2012) obteve o resultado de  $6,2 \times 10^{-7}$  DALY.pppa-1.

Os resultados encontrados por Fewtrell et al. (2008); que mediu o risco anual de Salmonelose no reúso de água cinza em usos com mangueira e obteve o resultado de  $2,3 \times 10^{-5}$  DALY.pppa-1; é verificado que o valor é próximo ao encontrado neste trabalho os dois estão na mesma ordem de grandeza de  $10^{-5}$  DALY.

Fazendo a comparação com os resultados encontrados por Hora (2017) que avaliou o risco no uso de água de chuva, onde o resultado do risco em usar a água de chuva para a descarga do vaso sanitário foi de  $1,40 \times 10^{-7}$ , ou seja, inferior ao risco encontrado nesse trabalho, no entanto devemos lembrar que a água de chuva é uma água mais nobre quando comparada com a água cinza, já que essa é uma parcela do esgoto doméstico.

Com todas essas observações é possível dizer que os risco associados ao reúso da AC é bem variado, pois, depende de muitos fatores como por exemplo: O tratamento empregado, o uso final a ser utilizado e as características sociais da população.

Quadro 3 – Risco no uso da água de chuva e no reúso da água cinza estudado por diversos autores

<b>Autor</b>	<b>Risco</b>	<b>DALY</b>	<b>Descrição do trabalho</b>
Ben-ami (2016)	$2,7 \times 10^{-7}$	Não medido	Quantificação e riscos associados a aerossóis bacterianos perto de sistemas domésticos de tratamento de águas cinzas considerando <i>Staphylococcus aureus</i> como patógeno de referência.
Fewtrell (2008)	-	$2,3 \times 10^{-5}$	Média do risco anual de <i>Salmonelose</i> no reúso de água cinza em usos com mangueira
Vaz (2009)	$4,5 \times 10^{-5}$	Não medido	Avaliação do risco microbiológico decorrente do reúso de águas cinza em uma edificação residencial de alto padrão
Pasin (2013)	$2,60 \times 10^{-1}$	$3,6 \times 10^{-3*}$	Avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados à <i>E. coli</i> em águas cinza
Barker (2013)	-	$2,00 \times 10^{-6}$	Risco no reúso de AC para irrigação doméstica de alface em Melbourne, Austrália (média dos valores)
Jálvaro (2017)	$3,04 \times 10^{-5}$	$1,40 \times 10^{-7}$	Avaliação de risco microbiológico considerando <i>Campylobacter</i> como patógeno de referência para usos domésticos de água de chuva.
Cohim (2012)	-	$6,2 \times 10^{-7}$	Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico no reúso de água cinza para fins doméstico não potáveis, resultado do rotavírus para descarga de vaso sanitário.

\* Calculado pelo autor usando o valor de DALY de referência do trabalho de Havelaar et al. (2003)  
Fonte: Próprio autor.

## 5.2 ENERGIA INCORPORADA

Com o auxílio da metodologia de ACV foi possível calcular a energia incorporada do sistema de tratamento de água cinza, os valores encontrados estão listados no Quadro 4.

A energia incorporada no sistema foi de 0,23 kWh por m<sup>3</sup> de água cinza tratada produzida, levando em consideração que a ETAC possui uma vida útil de 25 anos e que foi produzido 1 m<sup>3</sup> de AC por dia. Quando é acrescentado a energia necessária na operação do sistema para produzir 1m<sup>3</sup> de ACT, que é de 2,51 kWh, torna o valor total de energia incorporada na ETAC para produzir 1m<sup>3</sup> de água cinza tratada 2,74 kWh.

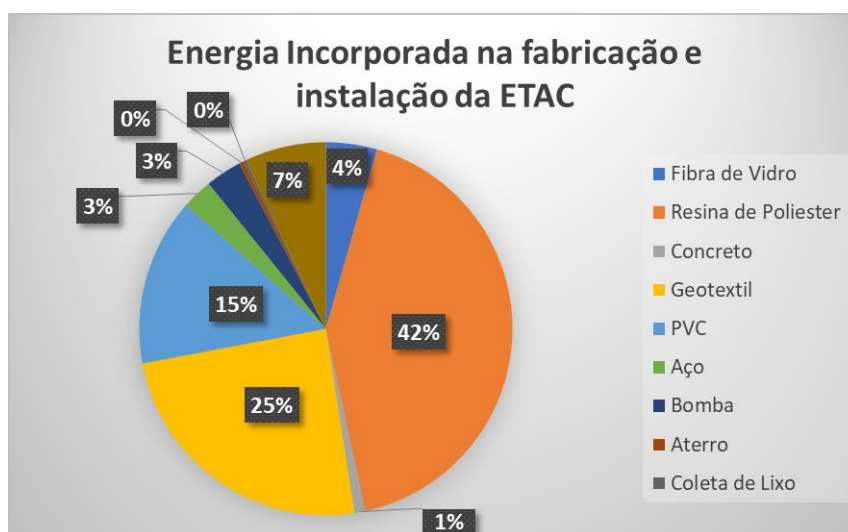
A incerteza calculada sobre a energia necessária na operação do sistema é de 0,24 kWh o que leva a uma variação entre 2,27 kWh e 2,75 kWh. Ou seja, a energia incorporada na ACT varia entre 2,5 kWh e 2,98 kWh.

**Quadro 4 – Energia incorporada na fabricação e instalação da ETAC**

Descrição	Unidade	Quantidade	Energia Unitária (MJ)	Total (MJ)	Total (kWh)
Fibra de Vidro	kg	9,3	35,8	334	92,8
Resina de Poliester	kg	28,0	114,0	3190	886,0
Concreto	m <sup>3</sup>	0,1	1400,0	70	19,4
Geotextil	kg	31,0	59,7	1851	514,1
PVC	kg	11,0	99,4	1097	304,7
Aço	kg	8,0	25,3	201	55,9
Bomba	kg	5,0	47,3	237	65,7
Aterro	unidade	1,0	29,7	30	8,3
Coleta de Lixo	unidade	1,0	18,3	18	5,1
Transporte	kg.km	192896,80	0,00276	532	147,9
<b>Total</b>				<b>7559</b>	<b>2099,8</b>
<b>Energia Fabricação e Instalação ETAC por m<sup>3</sup> de água produzida (vida útil de 25 anos)</b>				<b>0,83</b>	<b>0,23</b>

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Figura 11 é possível perceber que a fabricação da fibra de vidro compõe a maior parcela de energia incorporada do sistema, já a energia incorporada do concreto é inferior a 1% do total tornando-a desprezível isso se dá pelo fato de que o concreto utilizado nesse sistema foi muito pouco, esse foi utilizado apenas para fazer uma base para apoiar o filtro intermitente.



**Figura 11 – Energia incorporada na fabricação e instalação da ETAC. Fonte: Próprio autor.**

A energia incorporada total do sistema foi de 2,74 kWh/m<sup>3</sup>, se for comparada com a energia incorporada na concessionária de água de Feira de Santana calculada por Guanais (2015) que é de 3,51 kWh/m<sup>3</sup> demonstrar ser inferior em 0,77 kWh/m<sup>3</sup> tornando reúso de água cinza tratada utilizando esse modelo de tratamento energeticamente mais eficiente. No entanto, Guanais (2015) utilizou o fator de conversão de energia primária para energia entregue de 1,6 kWh/kWh e esse trabalho utilizou um fator de conversão de 2,13 kWh/kWh, como o valor de Guanais (2015) é referente a um trabalho de 2003 e o utilizado nesse trabalho foi obtido no banco de dados do Ecoinvent 3.3 de 2016 é importante fazer a devida conversão nos valores de energia de Guanais (2015). O novo valor da energia incorporada na água produzida pela concessionária local foi de 4,51 kWh/m<sup>3</sup>, levando em consideração esse novo valor a diferença entre a energia incorporada da água cinza tratada e a água produzida pela concessionária de Feira de Santana é de 1,77 kWh/m<sup>3</sup> o que amplia diferença, reforçando o fato de que a água cinza é energeticamente mais eficiente.

A parcela de energia necessária para a operação da ETAC representa 91% (2,51 kWh) do total de energia incorporada, isso demonstra a necessidade de dar atenção a operação. Uma forma de diminuir a energia incorporada no sistema é utilizar um motor bomba mais eficiente.

### 5.2.1 Qualidade dos dados

Sabendo que a escala da matriz pedigree vai de 1 a 5, onde, 1 é muito bom e 5 é muito ruim e com o auxílio da Tabela 16 é possível verificar que a qualidade dos dados utilizados no inventário da ACV são muito bons.

Tabela 16 – Matriz pedigree

<b>Pontuação do indicador</b>	<b>Confiança na fonte</b>	<b>Completeza</b>	<b>Correlação Temporal</b>	<b>Correlação Geográfica</b>	<b>Correlação Tecnológica</b>
<b>Fibra de Vidro</b>	2	4	3	2	3
<b>Resina de Poliéster</b>	2	4	3	2	3
<b>Concreto</b>	1	4	1	2	2
<b>Geotextil</b>	1	4	1	2	2
<b>PVC</b>	1	4	1	2	2
<b>Aço</b>	1	4	1	2	2
<b>Bomba</b>	1	4	1	2	2
<b>Aterro</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>Coleta de Lixo</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
<b>Transporte</b>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

N.A.: Não se aplica  
Fonte: Próprio autor.

A fibra de vidro e a resina não foram mensuradas diretamente, e por isso ficaram com nota 2 com relação a confiança na fonte e pelo fato da ETAC já ter sido obtida pronta, não foi possível ter notas melhores nos outros aspectos. Com relação a qualidade dos dados coletados, todos os demais itens possuem uma boa nota, pois, forma pesados e medidos diretamente, no entanto tiveram nota baixa com relação a completeza pois não foi avaliado os insumos de diversas empresas.

### 5.3 ASPECTOS ESTÉTICOS

#### 5.3.1 Odor

Através do teste de armazenamento foi possível verificar a potencialidade da ACT e da ACB em gerar maus odores quando armazenada por um período de até 216h, através da medição do potencial de oxirredução, do oxigênio dissolvido e do pH, pois através desses é possível verificar se a decomposição da matéria orgânica atingiu o momento de anaerobiose ou não. Em momento de anaerobiose os valores de OD são baixos (menores que 1 mg/L), o pH estando entre 6,5 e 7,5 indica uma condição favorável para a formação de gás sulfídrico e o potencial de oxirredução abaixo de -100 mV representa um momento anaeróbio na degradação da matéria orgânica.

Através da Tabela 17 e com o auxílio da Figura 12 é possível identificar que a ACB após 120h de armazenamento (5º dia) de armazenamento possui um grande potencial de gerar maus odores, pois, os valores de ORP se concentram em sua maioria inferiores a -100mV o que demonstra um ambiente anaeróbio. Apesar das médias do OD serem valores abaixo de 1 mg/L não é possível utilizar esse parâmetro para reforçar o fato da decomposição está anaeróbia, pois, a incerteza nas medidas de OD são altas.

Os resultados do ORP indicam que a decomposição da matéria orgânica está em um processo anaeróbio indicam também que nesse processo há a liberação do gás sulfídrico o qual é responsável pela geração de maus odores, o pH estando entre 6,5 e 7,5 reforça a capacidade de geração do H<sub>2</sub>S pois torna o ambiente mais propício para a liberação do mesmo.



Tabela 17 – Resultados do Teste de Armazenamento (média e Desvio Padrão)

Momento da medição (h)	Água Cinza Bruta		Água Cinza Tratada	
	OD / (mg/L)	pH	OD / (mg/L)	pH
0,0	3,7 ; 3,3	7,0 ; 0,2	2,8 ; 1,6	7,1 ; 0,3
8,0	2,3 ; 2,5	6,7 ; 0,3	2,3 ; 1,7	7,0 ; 0,3
24,0	1,2 ; 1,6	6,8 ; 0,2	1,3 ; 0,9	6,8 ; 0,3
48,0	0,6 ; 0,6	6,7 ; 0,2	1,4 ; 1,2	6,7 ; 0,2
72,0	0,6 ; 0,6	6,7 ; 0,3	1,9 ; 1,5	6,8 ; 0,4
96,0	0,6 ; 0,6	6,7 ; 0,3	2,1 ; 1,5	6,8 ; 0,4
120,0	0,7 ; 0,9	6,8 ; 0,2	2,2 ; 1,4	6,9 ; 0,3
144,0	0,7 ; 0,8	6,8 ; 0,2	2,2 ; 1,4	7,3 ; 0,3
168,0	0,7 ; 0,8	7,0 ; 0,2	2,3 ; 1,3	7,1 ; 0,3
192,0	0,8 ; 1,0	6,9 ; 0,2	2,5 ; 1,5	7,1 ; 0,4
216,0	1,0 ; 1,1	6,8 ; 0,3	2,6 ; 1,7	6,9 ; 0,5

Fonte: Próprio autor.

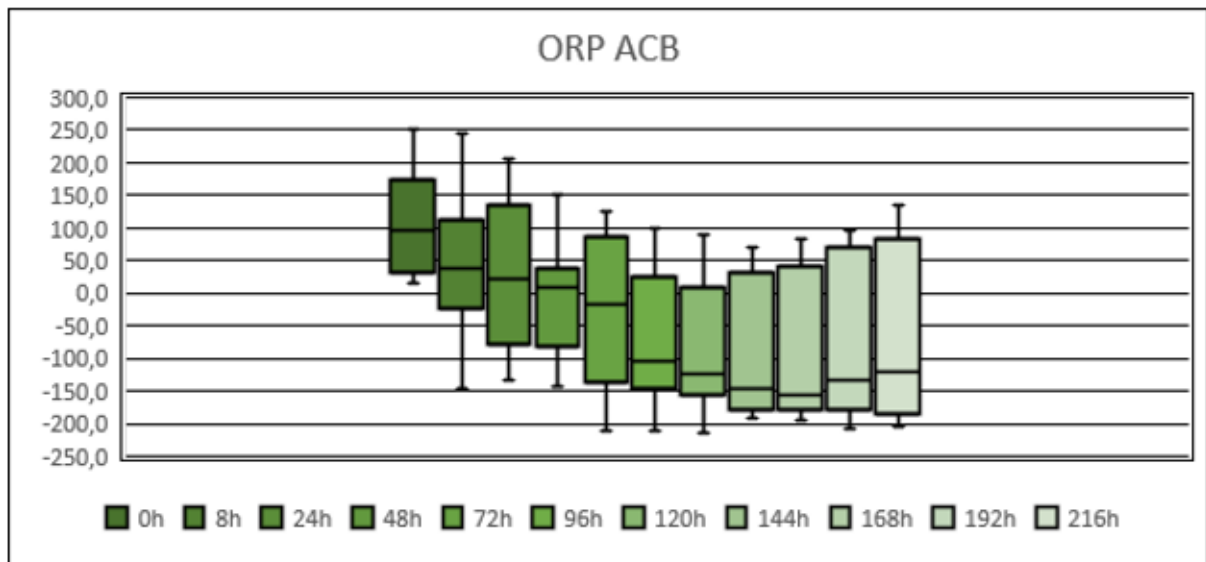


Figura 12 – ORP ACB. Fonte: Próprio autor.

Com o auxílio da Tabela 18 e com a Figura 13 é possível dizer que a ACT possui um baixo potencial em gerar maus odores, já que os valores de ORP, em sua grande maioria, não atingiram valores inferiores a -100mV, mesmo levando em consideração as incertezas calculadas, ou seja, o momento anaeróbico da digestão da matéria orgânica não foi alcançado tornando a ACT com baixo potencial em gerar maus odores. Os baixos valores de DBO da Tabela 17 apenas reforçam esse fato, pois não havendo matéria a ser degradada não há necessidade de consumir oxigênio.

Tabela 18 – DBO e DQO da ACB e da ACT

AC	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
Bruta	170 ; 66	315
Tratada	39 ; 7	153

Fonte: Próprio autor.

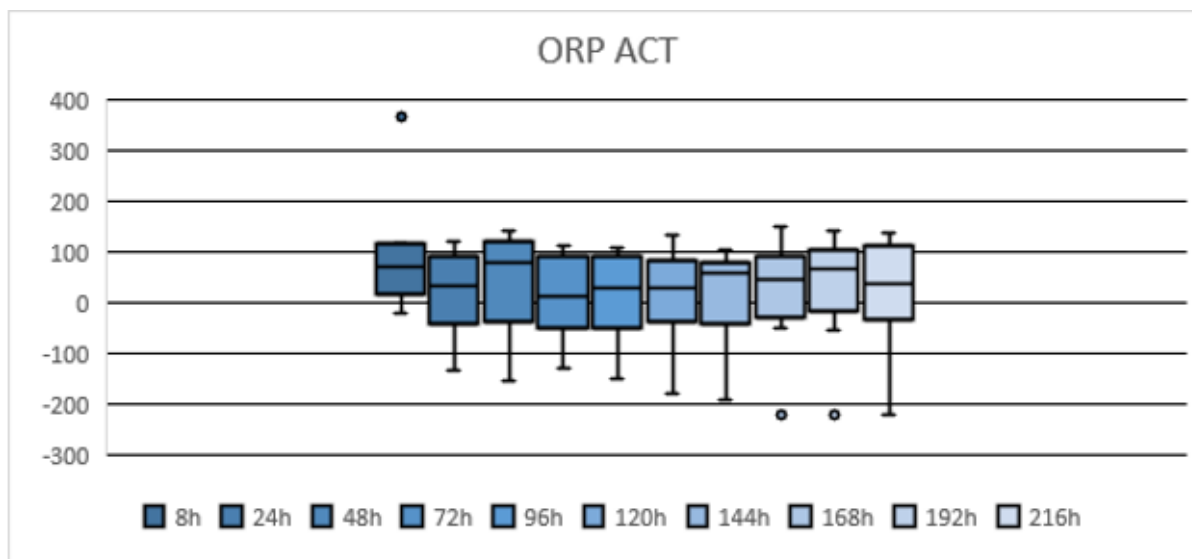


Figura 13 – ORP ACT. Fonte: O autor.

Os valores pontuais de ORP abaixo de -100mV são explicados, pelo fato, da ETAC ter sofrido uma sobrecarga de AC produzida pela residência o que fez a RAC transbordar e misturar a AC das 4 câmaras afetando negativamente o tratamento. No entanto esses valores foram exceções, o que torna possível dizer que a ACT tem baixo potencial em gerar maus odores. Este fato ocorreu em um dia de medição, no dia 22 de junho de 2018.

### 5.3.2 Cor

A cor da ACB teve uma média de 39uH e a da ACT foi de 13,5uH, o Ministério da Saúde em sua portaria de nº 2.914 de dezembro de 2011 exige uma cor com valor inferior a 15 uH, ou seja, a cor da ACB não é aceitável para os parâmetros exigidos.

O tratamento foi eficiente pois conseguiu reduzir a média da cor da ACT para um valor inferior ao exigido, no entanto o desvio padrão é muito alto o que torna incapaz de afirmar que, do ponto de vista do parâmetro cor, a AC está dentro do exigido pelo ministério da saúde.

## 6 CONCLUSÃO

Através de algumas ferramentas como a AQRM e a ACV é possível verificar aspectos importantes com relação ao reúso de água cinza. Um dos aspectos que é mais avaliado e levado em consideração tanto pelos usuários quanto pelos estudiosos é o risco em se reutiliza a água cinza.

Esse trabalho avaliou o risco no reúso da água cinza na descarga de vaso sanitário e irrigação de jardim e entre os três patógenos estudados, (*Campylobacter*, Rotavírus e *Cryptosporidium*) e o risco foi de  $3,2 \times 10^{-5}$  DALY.pppa<sup>-1</sup>, o que representa um baixo risco. Sendo o uso de maior risco a descarga do vaso sanitário que apresentou o valor de  $2,9 \times 10^{-5}$  DALY.pppa<sup>-1</sup>. O patógeno que obteve o maior risco foi o Rotavírus, sendo o valor do risco de  $2,7 \times 10^{-5}$  DALY.pppa<sup>-1</sup>.

No entanto, mesmo tendo um acréscimo insignificante nos casos de doenças diarreicas ao se reutilizar a água cinza tratada para fins domésticos não potáveis, o valor do risco está acima do recomendado pela OMS que é de  $1 \mu$ DALY.

Vale ressaltar que a ETAC utilizada nesse trabalho não foi capaz de suprir a demanda de volume de água cinza a ser tratada, ou seja, a taxa de aplicação hidráulica foi alta. Um fator que mostra que a ETAC possui a capacidade de tratamento é o fato da mesma ter reduzido a quantidade da bactéria *E. coli* presente na água cinza, ou seja, o valor encontrado pode ser reduzido caso seja aumentado o tamanho da ETAC afim de suportar o valor de água cinza produzida pela família, outra forma de melhorar a eficiência da estação é adicionar um reservatório antes da RAC para regularizar a vazão de água na estação ou, simplesmente, descartar o excedente.

Com relação aos aspectos estéticos da água, foram encontrados valores que indicam um bom potencial em agradar o usuário, pois, a média da cor encontrada foi de 13,5 uH, no entanto, a incerteza dessa medida é alta o que levou a uma variação de 25,5 uH e 1,5 uH. O ensaio do teste de armazenamento mostrou que a água cinza tratada possui baixo potencial em gerar maus odores pois os valores médios de ORP não alcançaram números inferiores a -100 mV, ou seja, não atingiu um momento de anaerobiose na decomposição da matéria.

Por fim, a média da energia incorporada do sistema foi de 2,74 kWh/m<sup>3</sup>, se for comparada com a energia incorporada na concessionária de água de Feira de Santana que é de 4,51 kWh/m<sup>3</sup> demonstrar ser inferior em 1,77 kWh/m<sup>3</sup> tornando o reúso de água cinza utilizando

esse modelo de tratamento energeticamente mais eficiente. No entanto, o valor de energia incorporada da ETAC não é muito inferior ao da concessionária local, isso se dá pelo fato de que o grande volume de água cinza bruta que a ETAC recebeu durante o período de uso da máquina de lavar roupas, tornou necessário um maior tempo de funcionamento da bomba, além de aumentar o número de partidas da mesma. Levando a parcela de energia necessária para o funcionamento da ETAC representar 91% (2,51 kWh/m<sup>3</sup>) do total de energia incorporada.

Com tudo, o estudo demonstrou que a água cinza possui potencial em ser reutilizada para fins domésticos não potáveis. Mas antes de fazer esse reuso deve-se dimensionar e utilizar uma forma de tratamento adequado.

## **7 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

- Realizar uma avaliação de mudanças climáticas com relação ao reúso de água cinzas.
- Fazer uma educação quanto ao uso da água a família.
- Instalar um tanque de equalização a ETAC.
- Fazer uma pesquisa de aceitação pública com relação ao reúso de água cinza.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, M.F. et al. Risk Assessment of Arsenic Mitigation Options (RAAMO). Dhaka: APSU, 2005. 80 p.
- ALEXANDRE, Ellen Carla Francisca; PEREIRA, Alisson Vinicius; LEMKE-DE-CASTRO, Mara Lucia. Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis. *Revista de Biotecnologia & Ciência*, v. 2, p. 106-116, 2013.
- ALFONSÍN, Carolina et al. Selection of odour removal technologies in wastewater treatment plants: A guideline based on Life Cycle Assessment. *Journal of environmental management*, v. 149, p. 77-84, 2015.
- ALVES, Haroldo Benedito et al. Precipitação química e cloração para combate a maus odores em estações de tratamento de esgoto anaeróbias. *Revista técnica da Sanepar*, Curitiba, v. 21, n. 21, p. 19-32, 2004.
- ALLEN, Lucy; CHRISTIAN-SMITH, Juliet; PALANIAPPAN, Meena. Overview of greywater reuse: the potential of greywater systems to aid sustainable water management. *Pacific Institute*, v. 654, 2010.
- APHA (American Public Health Association) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Ed. 1999.
- ANA (Agência Nacional de Águas) Conservação e reúso da água em edificações. São Paulo, 2005.
- ANTONOPOULOU, Georgia; KIRKOU, Amalia; STASINAKIS, Athanasios S. Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. *Science of the Total Environment*, v. 454, p. 426-432, 2013.
- ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. *GEOGRAFIA (Londrina)*, v. 12, n. 1, p. 517-526, 2010.
- ASHBOLT, N.J. et al. Microbial Risk Assessment (MRA) Tool. Gothenburg: Urban Water, 2005. 64 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de fluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

BANI-MELHEM, K. et al. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *Journal of Membrane Science*, v. 476, p. 40-49, 2015.

BARKER, S. Fiona et al. *A probabilistic model of norovirus disease burden associated with greywater irrigation of home-produced lettuce in Melbourne, Australia*. *Water research*, v. 47, n. 3, p. 1421-1432, 2013.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Espírito Santo, Vitória, 2005.

BEGOSSO, Larissa. Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de Wetlands Construídos para o tratamento de água cinza. 2009.

BLOOD, Chase Jamison. Greywater systems in urban environments. University of Southern California, 2012.

BOON, Arthur G. Septicity in sewers: causes, consequences and containment. *Water Science and Technology*, v. 31, n. 7, p. 237-253, 1995.

BORCHARDT, Mark A. et al. Incidence of enteric viruses in groundwater from household wells in Wisconsin. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 69, n. 2, p. 1172-1180, 2003.

BRENNAN, B. Odour nuisance. *Water Waste Treat*, v. 36, p. 30-33, 1993.

BROWN, R. R.; DAVIES, P. Understanding community receptivity to water re-use: Ku-ring-gai Council case study. *Water science and technology*, v. 55, n. 4, p. 283-290, 2007.

CAVALEIRO, Antônio. Reúso de águas cinzas e águas pluviais em edifícios residenciais. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Judas Tadeu, 2014.

CHAVES, Lúcia da Conceição Diogo. Estudo da cinética de formação de biofilmes em superfícies em contato com água potável. Tese. Universidade do Ninho, 2004.

CHONG, Meng Nan et al. Evaluation of Titanium dioxide photocatalytic technology for the treatment of reactive Black 5 dye in synthetic and real greywater effluents. *Journal of Cleaner Production*, v. 89, p. 196-202, 2015.

CHRISPIM, Mariana. Avaliação de um sistema de tratamento de águas cinzas em edificação de campus universitário. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. Departamento de Saúde Ambiental, 2014.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. V.106, n. 1-3, p. 391-397, 1995.

COHIM, E. Tratamento local de água cinza para reúso: Avaliação do impacto na saúde. In: II Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012, Feira de Santana. Anais do II COBESA, 2012.

COHIM, Eduardo. Polimento de efluente de UASB com filtros intermitentes de areia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2006.

COHIM, Eduardo; KIPERSTOK, Asher; MEIRELES, Alisson. Avaliação do potencial de geração de odor de efluente de filas. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007.

COHIM, Eduardo et al. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS CINZA SINTÉTICAS, DURANTE ARMAZENAMENTO. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, v. 3, n. 1, p. 36-48, 2010.

CORNEL, Peter; CHOO, Kwang-Ho; LAZAROVA, Valentina. In: LAZAROVA, Valentina; CHOO, Kwang-Ho; CORNEL, Peter (Ed.). *Water-energy interactions in water reuse*. IWA publishing, 2012. Cap: Introduction, p xxv – xxvi.



COSTELLO, Ronan. Investigations into the performance of bio-sand filters to treat domestic greywater for the purpose of reuse for toilet flushing and irrigation. Tese de Doutorado. Purdue University, 2013.

CRUZ, Alice Dias da et al. Avaliação do biogás produzido em reatores UASB em termos de concentração de H<sub>2</sub>S para fins de aproveitamento energético. 2016.

CURRAN, Mary Ann. Life cycle assessment. John Wiley & Sons, Inc., 2008.

DALLAS, Stewart; SCHEFFE, Brian; HO, Goen. Reedbeds for greywater treatment—case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecological Engineering*, v. 23, n. 1, p. 55-61, 2004.

DELL'UOMO, Francisco. Análise Técnica E Econômica Dos Processos De Tratamento De Águas Cinza Visando Ao Reúso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação, 2014  
ERIKSSON, Eva et al. Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

DUDA, Mark; SHAW, Jane S. Life cycle assessment. *Society*, v. 35, n. 1, p. 38-43, 1997.

FANE, S. A.; ASHBOLT, N. J.; WHITE, S. B. Decentralised urban water reuse: the implications of system scale for cost and pathogen risk. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 6-7, p. 281-288, 2002.

FEITOSA, Alex et al. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 8, n. 3, 2011.

FERNANDES, Ittana de Oliveira Lins. Avaliação energética e ambiental da produção de óleo de dendê para biodiesel na região do baixo sul, Bahia. 2009. 151 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

FEWTRELL, Lorna; KAY, David; BENJAMIN, M. (Ed.). Health impact assessment for sustainable water management. IWA Publishing, 2008.

FIOCRUZ, Carga global de doença no estado de minas gerais, Minas Gerais, 2005.

FIORI, S. et al. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. *Ambiente Construído*, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

FRECHEN, F. B. Odour emissions and odour control at wastewater treatment plants in West Germany. *Water Science and Technology*, v. 20, n. 4-5, p. 261-266, 1988.

FRIEDLER, E.; KOVALIO, R.; GALIL, N. I. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science and Technology*, v. 51, n. 10, p. 187-194, 2005.

GONÇALVES, Ricardo Franci et al. Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, v. 5, p. 352, 2006.

GONÇALVES, Ricardo Franci; MARTINELLI DA SILVA SIMÕES, Giovana; WANKE, Renate. Reúso de águas cinzas em edificações urbanas estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2011.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S. A.; STUETZ, R. M. Odour measurements for sewage treatment works. *Water Research*, v. 35, n. 3, p. 579-597, 2001.

GONÇALVES, Ricardo Franci. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. ABES, 2009.

GONÇALVES, Ricardo Franci et al. Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, v. 5, p. 352, 2006.

GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B. Revision of the national reclaimed water guidelines. *Desalination*. v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.

GROSS, A. et al. Reliability of small scale greywater treatment systems and the impact of its effluent on soil properties. *International Journal of Environmental Studies*, v. 65, n. 1, p. 41-50, 2008.

GUANAIS, Ana Luiza da Silva Rezende et al. Avaliação energética e das emissões de gases de efeito estufa do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana. Dissertação. Universidade Estadual de Feira de Santana 2015.

HAAS, C.. Progress and data gap in quantitative microbial risk assessment. *Water Science and Technology*, 2002, p. 277-284.

HAVELAAR, A. H. et al. Disease burden in The Netherlands due to infections with Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157. *Epidemiology & Infection*, v. 132, n. 3, p. 467-484, 2004.

HAFNER, Ana Vreni. Conservação e reúso de água em edificações—experiências nacionais e internacionais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Do Rio De Janeiro. 2007.

HENZE, M.; LEDIN, A. Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewater. New York: IWA Published, 2001.

HESPANHOL, Ivanildo et al. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HOBSON, J. The odour potential: a new tool for odour management. *Water and Environment Journal*, v. 9, n. 5, p. 458-463, 1995.

HOLDREN, John P. Energy and Sustainability. *Science* 315 (5813), 737, 2007. Site: <http://science.sciencemag.org/>. Acessado em fevereiro de 2017.

JEFFERSON, B. et al. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban water*, v. 1, n. 4, p. 285-292, 2000.

KARIUKI, Francis W.; KOTUT, Kiplagat; NGANGA, Victor G. The potential of a low cost technology for the greywater treatment. *Open Environmental Engineering Journal*, v. 4, p. 32-39, 2011.

KHALAPHALLAH, Rafat. Greywater treatment for reuse by slow sand filtration: study of pathogenic microorganisms and phage survival. Tese de Doutorado. Ecole des Mines de Nantes. 2012.

LAZAROVA, Valentina; CHOO, Kwang-Ho; CORNEL, Peter (Ed.). *Water-energy interactions in water reuse*. IWA publishing, 2012.

LENS, P., ZEEMAN, G. and LETTINGA, G. (eds). 2001, *Decentralised Sanitation and Reuse*

- Concepts, Systems and Implementation: Concepts, Systems. IWA Publishing, Cornwall, 2001.

LI, Fangyue; WICHMANN, Knut; OTTERPOHL, Ralf. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, v. 407, n. 11, p. 3439-3449, 2009.

LIMA, Erilane; STAMFORD, Tânia Lucia Montenegro. *Cryptosporidium* spp. no ambiente aquático: aspectos relevantes da disseminação e diagnóstico. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 8, n. 3, p. 791-800, 2003.

LÓPEZ-PILA, J. M., SZEWZYK, R., Estimating the infection risk in recreational waters from the faecal indicator concentration and from the ratio between pathogens and indicators. *Pergamon*, Berlin, V.34, n°17, pp. 4195 – 4200, Fev. 2000.

LOPEZ, Alan D. et al. (Ed.). *Global burden of disease and risk factors*. World Bank Publications, 2006.

FRISCHKNECHT, Rolf et al. Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 20, n. 7, p. 957-969, 2015.

LUPATINI, G. et al. Monitoramento de odores de estação de tratamento de esgoto anaeróbica em Quatro Barras-PR. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte-MG. 2007.

LUZ, Roger Bordin et al. Presença de partículas virais infecciosas em amostras de água de diferentes tipos e localidades do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista brasileira de Biociências*, v. 10, n. 1, p. 103, 2012.

FILHO, Fernando Jorge Correa; DA SILVA, Jhonatan Barbosa; PAULO, Paula Loureiro. Hidrodinâmica de um wetland construído combinado com um sistema por evapotranspiração como pré-tratamento. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 1, n. 2, p. 276-285, 2013.

MARA, D. 'A Guide to the Guidelines: A Numerical Guide to the 2006 WHO Guidelines on Wastewater Use in Agriculture and Practical Advice on how Transpose them into National

Standards. School of Civil Engineering, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK, Novembro 2006.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício. Reúso de água. Editora Manole Ltda, 2003.

MAY, Simone. Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009

MCGRATH, T. et al. Review of the Regulatory Requirements for the Maintenance of Aerobic Treatment Units and Greywater Treatment Systems in Western Australia. Journal of Water Resource and Protection, v. 7, n. 17, p. 1502, 2015.

MENEZES, Caroline dos Santos de. Tratamento e reúso de águas cinza para ampliação de áreas verdes. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul 2013.

MENDONÇA, Jorge Eduardo. Produção de energia consome 15% da água do mundo. Planeta sustentável, Abril. 2014. Site: <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/planeta-urgente/producao-de-energia-consome-15-da-agua-do-mundo/> Acessado em: 18/02/2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE 2000. Portaria 1.469 de 29 de dezembro de 2000, republicada no D. O.U. no 38 – E de 22/2/2001, Seção 1, p. 39. Funasa, 2000.

MONTEIRO, Victória Regina Celso. Wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de águas cinzas residencial e de escritório. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

MORAES, Luiz Roberto Santos et al. Impact of drainage and sewerage on diarrhoea in poor urban areas in Salvador, Brazil. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, v. 97, n. 2, p. 153-158, 2003.

MURRAY, C. Quantifying the burden of disease: the technical basis for DALYs. Bulletin of the World Health Organization, 1994, p 429-445.

NARAYANASWAMY, V.; ALTHAM, W. (JIM); BERKEL, R.V.; MCGREGOR, M. A Primer on Environmental Life Cycle Assessment (LCA) for Australian Grains. Curtin University of

Technology. 2002.

NOLDE, Erwin. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings—over ten years experience in Berlin. *Urban water*, v. 1, n. 4, p. 275-284, 2000.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. *Water* 21. p. 37-41, out. 2001.

OTTOSON, Jakob; STENSTRÖM, Thor Axel. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water research*, v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PIRES, João Daniel Torres Simões et al. Reúso de água cinza e aproveitamento da água de chuva como fontes alternativas em propriedades rurais. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

PASIN, Débora Brunheroto. Avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados à *E. coli* em águas cinza. 2013.

PO, Murni; NANCARROW, Blair E.; KAERCHEER, Juliane D. Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse. 2003.

PRESOTTO, Amanda Braga Teixeira. Estudo do Controle de Emissões de Sulfeto de Hidrogênio em Sistema de Tratamento Anaeróbico de Esgoto Doméstico Através de Adsorção em Carvão. Dissertação. Universidade Federal De Itajubá 2014.

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; VILELA, L. Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília - parte 1: reduções no consumo de água. *Paranoá*, Brasília, no 10, p. 77-84, 2013.

SECCHI, Fábio Júnior; KONRAD, Odorico; TONETTO, Jaqueline. Avaliação do balanço hídrico e da eficiência de um alagado construído como alternativa de tratamento para efluente doméstico. *Ciência e Natura*, v. 38, n. 1, p. 453-461, 2016.

SELLA, Marcelino Blacene. Reúso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

SILVA, Alcione Batista da. Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto

Paranoá e seus problemas associados. 2007.

SILVA, Wilson Marques et al. Avaliação da reutilização de águas cinzas em edificações, Construções verdes e sustentáveis. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010 Pág. 15 2010.

SOUSA, Andrea Françoise Sanches de. Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC-análise de perigos e pontos críticos de controle: estudo de caso Residencial Valville I. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2008.

SPAHR, Katie Marie. The challenges to implementing decentralized water reuse: A greywater recirculation case study in Boulder, Colorado. University of Colorado. Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, 2012.

STORDEUR, R. T. et al. A new microprocessor-controlled dynamic olfactometer. Journal of the Air Pollution Control Association, v. 31, n. 4, p. 377-380, 1981.

TALAIKHOZANI, A. et al. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. Journal of environmental management, v. 170, p. 186-206, 2016.

TAVARES, Talissa de Moraes; CARDOSO, Divina das Dores de Paula; BRITO, Wília Marta Elsner Diederichsen. Vírus Entéricos Veiculados Por Água: Aspectos Microbiológicos E Decontrole De Qualidade Da Água. Revista de patologia tropical, v. 34, n. 2, 2007.

VASQUES M.L., MOSQUERA M., CUEVAS L.E, et al. Incidência e fatores de risco de diarreia e infecções respiratórias agudas em comunidades urbanas de Pernambuco, Brasil. Cad Saúde Pública; 15:163-72. 1999.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 1996.

WIDIASTUTI, Nurul et al. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. Desalination, v. 218, n. 1-3, p. 271-280, 2008.

WALKER, Christa L. Fischer et al. Diarrhea incidence in low-and middle-income countries in 1990 and 2010: a systematic review. *BMC public health*, v. 12, n. 1, p. 220, 2012.

WESTRELL, T.. Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems. PhD Dissertation.2004.

WOLF, Marc-Andree; PANT, Rana; CHOMKHAMSRI, Kirana; SALA, Serenella; PENNINGTON, David; European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Luxembourg. Publications Office of the European Union, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. *Water Sanitation and Health*. Geneva, 2006. 4v.

ZARRA, T. et al. Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment. *Water Science and Technology*, v. 58, n. 1, p. 89-94, 2008.



## APÊNDICE A

### Análise do Ciclo de Vida

#### Quantitativo do inventário da análise do ciclo de vida

Descrição	Simapro	Un.	Quantidade	Energia Unitária (MJ)	Total (MJ)
Fibra de Vidro	<i>Glass Fibre {RoW} production Alloc Def, U</i>	kg	9,33	35,80	334,01
Resina de Poliester	<i>Polyester resin unsaturated {GLO} production Alloc Def, U</i>	kg	27,98	114,00	3189,72
Concreto	<i>Concrete, 25 Mpa {RoW} Concrete production 25 Mpa</i>	m <sup>3</sup>	0,05	1400,00	70,00
Geotextil	<i>Polyester - complexed starck biopolymer {RoW} production</i>	kg	31,00	59,70	1850,70
PVC*	<i>PVC pipe {RER} production Alloc Rec, U</i>	kg	11,04	99,40	1096,98
Aço	<i>Stell, Low-alloyed, hot rolled {GLO} Market for</i>	kg	7,95	25,30	201,14
Bomba*	<i>Metal working machine, unespecified {RoW}  production</i>	kg	5,00	47,30	236,50
Aterro	<i>Municipal solid waste (waste scenario) {RoW}  Treatment of municipal solid waste, landfill   Alloc Rec, S</i>	unidade	1,00	29,70	29,70
Coleta de Lixo		unidade	1,00	18,30	18,30
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for   Alloc Rec, S</i>	Kg.Km	192896,80	0,00276	532,40

Para o item PVC foi realizado uma adaptação do item *Polyethylene pipe, DN 200, SDR 41 {RER}| production | Alloc Rec, S* encontrado no banco de dados devido ao mesmo não possuir um tubo de PVC.

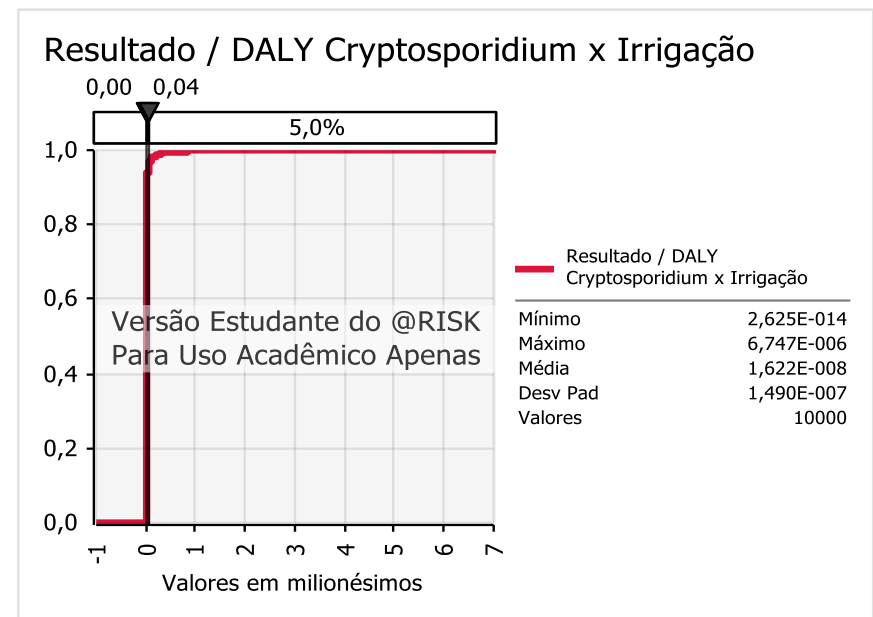
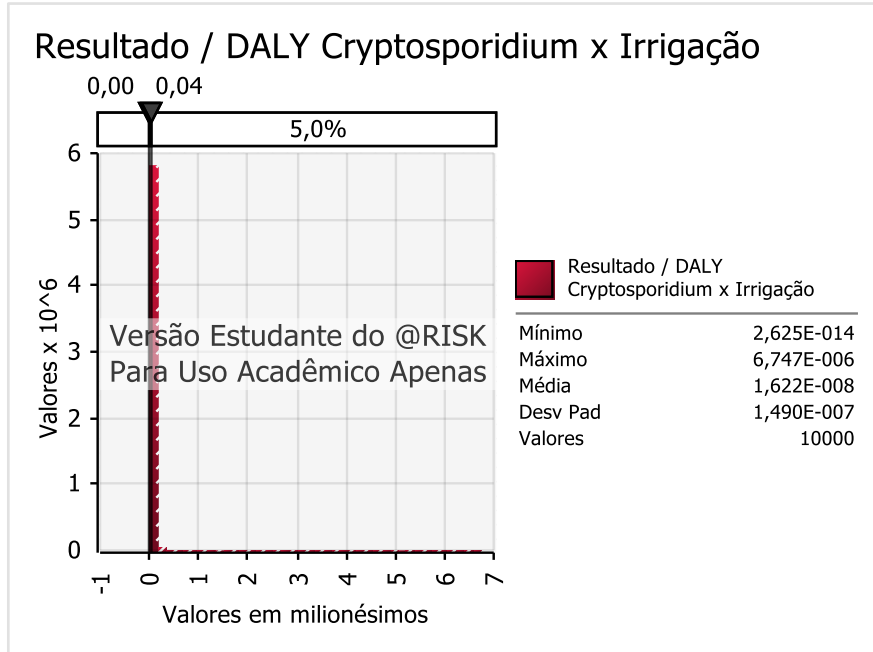
Para o item Bomba foi realizado uma adaptação do item *Pump, 40W {GLO}| market for | Alloc Rec, S* encontrado no banco de dados devido ao mesmo não possuir um inventário para uma bomba de 380 W.

## APÊNDICE B

Resultados probabilísticos através do software @Risk

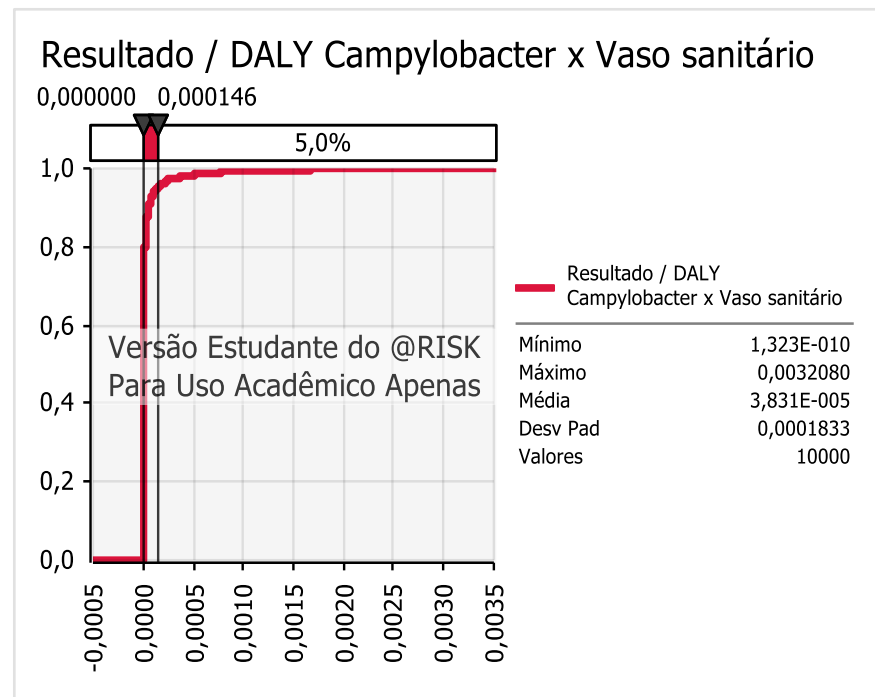
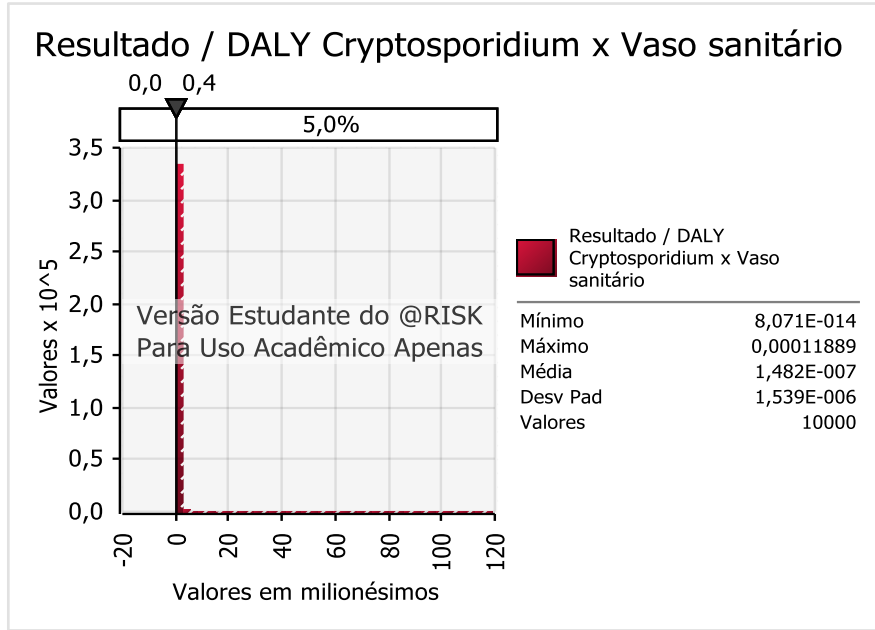
### B.1 Relatório Output do @RISK para Resultado / DALY Cryptosporidium x Irrigação

Sumário Estatístico para Resultado / DALY Cryptosporidium x Irrigação			
Estatísticas		Percentil	
<b>Mínimo</b>	2,63E-14	<b>5%</b>	6,78E-12
<b>Máximo</b>	6,75E-06	<b>10%</b>	1,81E-11
<b>Média</b>	1,62E-08	<b>15%</b>	3,46E-11
<b>Desv Pad</b>	1,49E-07	<b>20%</b>	5,83E-11
<b>Variância</b>	2,21975E-14	<b>25%</b>	8,87E-11
<b>Assimetria</b>	29,10520065	<b>30%</b>	1,35E-10
<b>Curtose</b>	1070,139604	<b>35%</b>	2,00E-10
<b>Mediana</b>	5,69E-10	<b>40%</b>	2,89E-10
<b>Moda</b>	5,22E-13	<b>45%</b>	4,12E-10
<b>X Esquerda</b>	6,78E-12	<b>50%</b>	5,69E-10
<b>P Esquerda</b>	5%	<b>55%</b>	8,05E-10
<b>X Direito</b>	4,29E-08	<b>60%</b>	1,11E-09
<b>P Direito</b>	95%	<b>65%</b>	1,56E-09
<b>Dif X</b>	4,29E-08	<b>70%</b>	2,27E-09
<b>Dif P</b>	90%	<b>75%</b>	3,37E-09
<b>Erros</b>	0	<b>80%</b>	5,13E-09
<b>Filtrar Min</b>	Desligado	<b>85%</b>	8,54E-09
<b>Filtrar Max</b>	Desligado	<b>90%</b>	1,61E-08
<b>Filtrados</b>	0	<b>95%</b>	4,29E-08



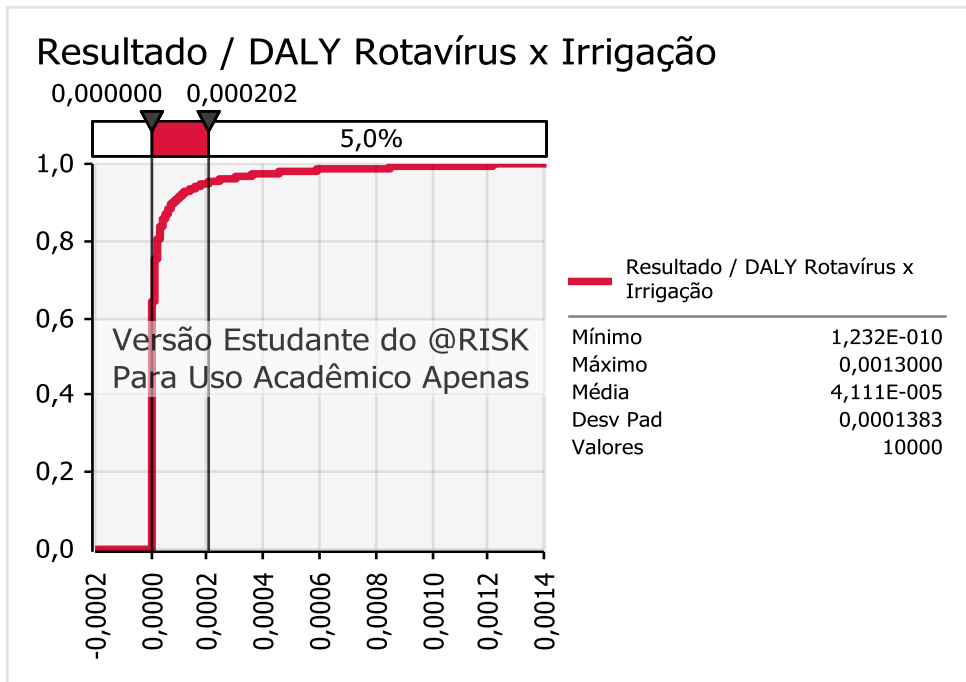
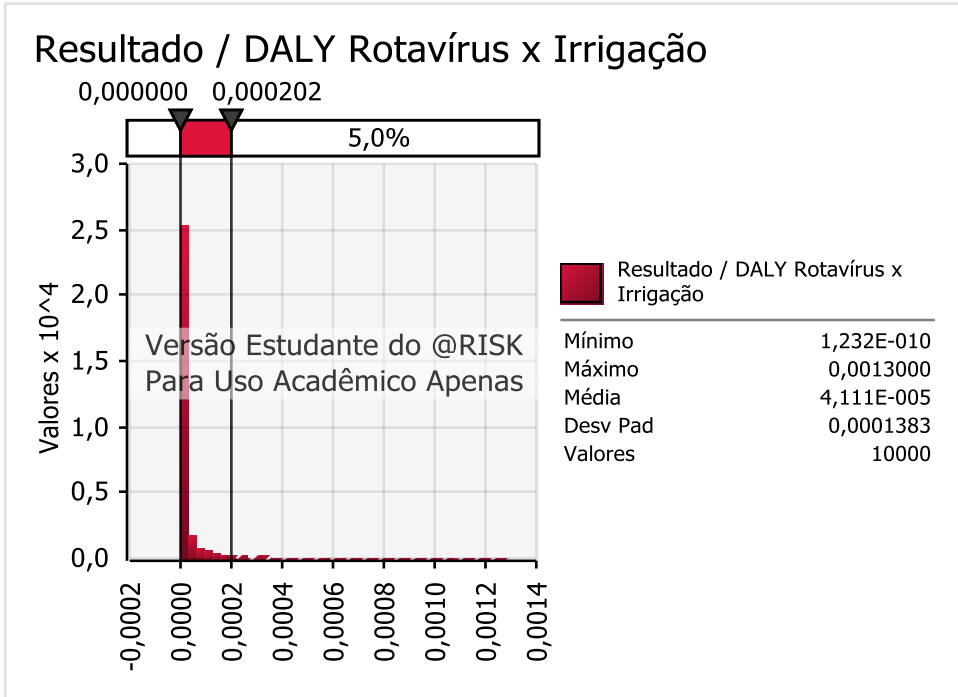
B.2 Relatório Output do @RISK para Resultado / DALY Cryptosporidium x Vaso sanitário

Sumário Estatístico para Resultado / DALY Cryptosporidium x Vaso sanitário			
Estatísticas		Percentil	
<b>Mínimo</b>	8,07E-14	<b>5%</b>	7,42E-11
<b>Máximo</b>	1,19E-04	<b>10%</b>	1,85E-10
<b>Média</b>	1,48E-07	<b>15%</b>	3,49E-10
<b>Desv Pad</b>	1,54E-06	<b>20%</b>	5,69E-10
<b>Variância</b>	2,36855E-12	<b>25%</b>	8,85E-10
<b>Assimetria</b>	50,81349979	<b>30%</b>	1,35E-09
<b>Curtose</b>	3623,134987	<b>35%</b>	1,94E-09
<b>Mediana</b>	5,49E-09	<b>40%</b>	2,73E-09
<b>Moda</b>	7,39E-12	<b>45%</b>	3,84E-09
<b>X Esquerda</b>	7,42E-11	<b>50%</b>	5,49E-09
<b>P Esquerda</b>	5%	<b>55%</b>	7,71E-09
<b>X Direito</b>	3,78E-07	<b>60%</b>	1,08E-08
<b>P Direito</b>	95%	<b>65%</b>	1,54E-08
<b>Dif X</b>	3,78E-07	<b>70%</b>	2,19E-08
<b>Dif P</b>	90%	<b>75%</b>	3,30E-08
<b>Erros</b>	0	<b>80%</b>	5,03E-08
<b>Filtrar Min</b>	Desligado	<b>85%</b>	8,26E-08
<b>Filtrar Max</b>	Desligado	<b>90%</b>	1,63E-07
<b>Filtrados</b>	0	<b>95%</b>	3,78E-07



## B.3 Relatório Output do @RISK para Resultado / DALY Rotavírus x Irrigação

Sumário Estatístico para Resultado / DALY Rotavírus x Irrigação			
Irrigação			
Estatísticas		Percentil	
<b>Mínimo</b>	1,23E-10	<b>5%</b>	3,63E-08
<b>Máximo</b>	1,30E-03	<b>10%</b>	9,63E-08
<b>Média</b>	4,11E-05	<b>15%</b>	1,82E-07
<b>Desv Pad</b>	1,38E-04	<b>20%</b>	2,98E-07
<b>Variância</b>	1,91136E-08	<b>25%</b>	4,55E-07
<b>Assimetria</b>	5,893514567	<b>30%</b>	6,86E-07
<b>Curtose</b>	42,81764097	<b>35%</b>	9,91E-07
<b>Mediana</b>	2,82E-06	<b>40%</b>	1,41E-06
<b>Moda</b>	2,76E-09	<b>45%</b>	2,02E-06
<b>X Esquerda</b>	3,63E-08	<b>50%</b>	2,82E-06
<b>P Esquerda</b>	5%	<b>55%</b>	3,87E-06
<b>X Direito</b>	2,02E-04	<b>60%</b>	5,43E-06
<b>P Direito</b>	95%	<b>65%</b>	7,65E-06
<b>Dif X</b>	2,02E-04	<b>70%</b>	1,13E-05
<b>Dif P</b>	90%	<b>75%</b>	1,65E-05
<b>Erros</b>	0	<b>80%</b>	2,51E-05
<b>Filtrar Min</b>	Desligado	<b>85%</b>	4,25E-05
<b>Filtrar Max</b>	Desligado	<b>90%</b>	7,98E-05
<b>Filtrados</b>	0	<b>95%</b>	2,02E-04

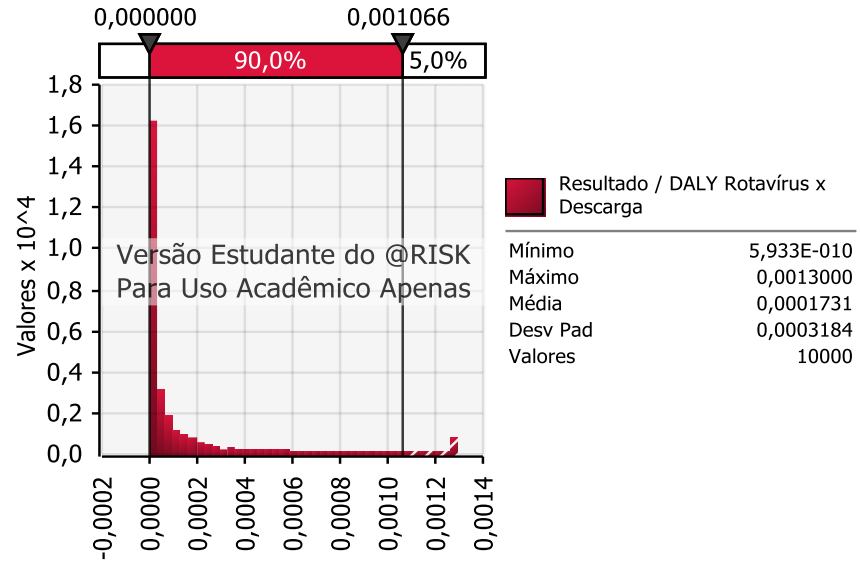


B.4 Relatório Output do @RISK para Resultado / DALY Rotavírus x Descarga de Vaso

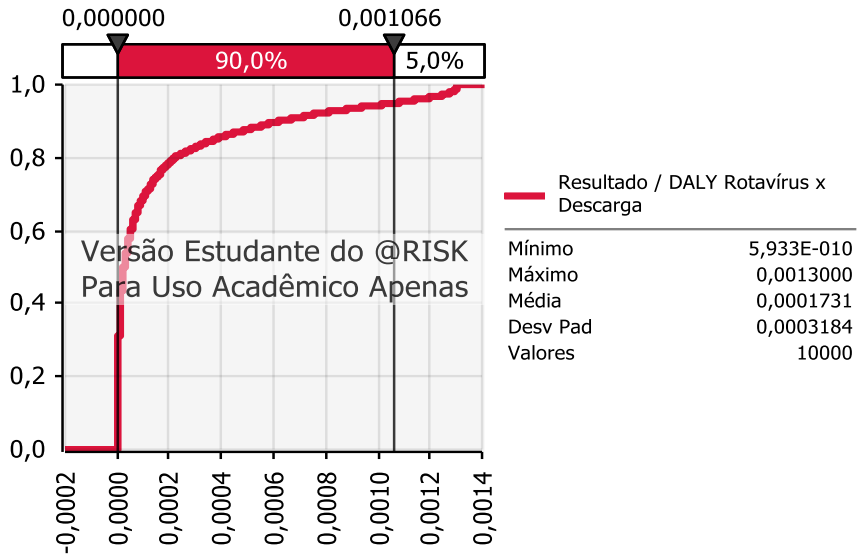
Sumário Estatístico para Resultado / DALY Rotavírus x Descarga			
Estatísticas		Percentil	
<b>Mínimo</b>	5,93E-10	<b>5%</b>	3,50E-07
<b>Máximo</b>	1,30E-03	<b>10%</b>	8,93E-07
<b>Média</b>	1,73E-04	<b>15%</b>	1,75E-06
<b>Desv Pad</b>	3,18E-04	<b>20%</b>	2,97E-06
<b>Variância</b>	1,0141E-07	<b>25%</b>	4,58E-06
<b>Assimetria</b>	2,334678357	<b>30%</b>	6,62E-06
<b>Curtose</b>	7,536231415	<b>35%</b>	9,57E-06
<b>Mediana</b>	2,68E-05	<b>40%</b>	1,34E-05
<b>Moda</b>	3,11E-08	<b>45%</b>	1,91E-05
<b>X Esquerda</b>	3,50E-07	<b>50%</b>	2,68E-05
<b>P Esquerda</b>	5%	<b>55%</b>	3,82E-05
<b>X Direito</b>	1,07E-03	<b>60%</b>	5,45E-05
<b>P Direito</b>	95%	<b>65%</b>	7,56E-05
<b>Dif X</b>	1,07E-03	<b>70%</b>	1,08E-04
<b>Dif P</b>	90%	<b>75%</b>	1,54E-04
<b>Erros</b>	0	<b>80%</b>	2,24E-04
<b>Filtrar Min</b>	Desligado	<b>85%</b>	3,74E-04
<b>Filtrar Max</b>	Desligado	<b>90%</b>	6,24E-04
<b>Filtrados</b>	0	<b>95%</b>	1,07E-03



### Resultado / DALY Rotavírus x Descarga

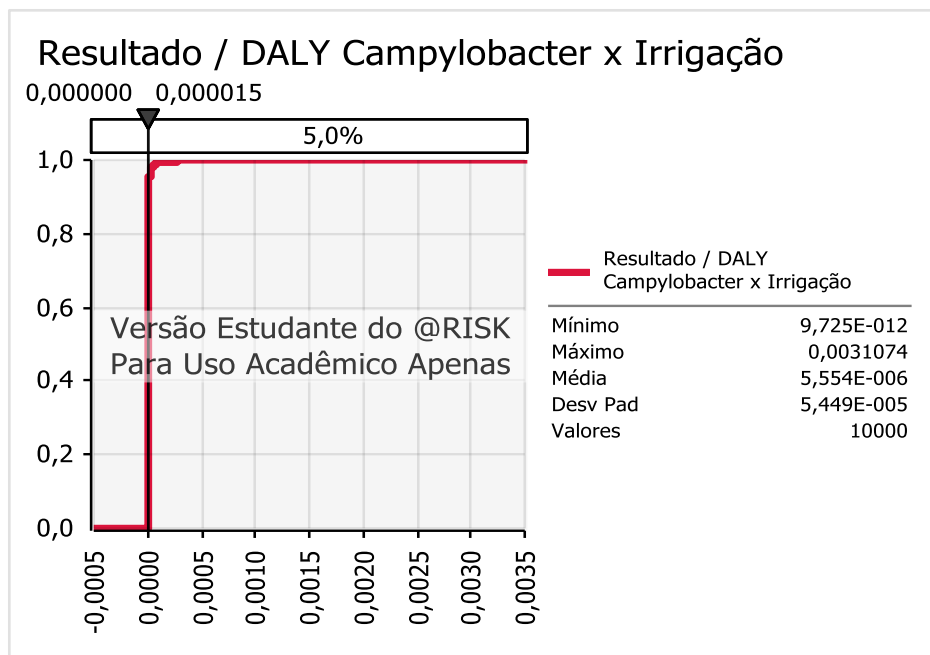
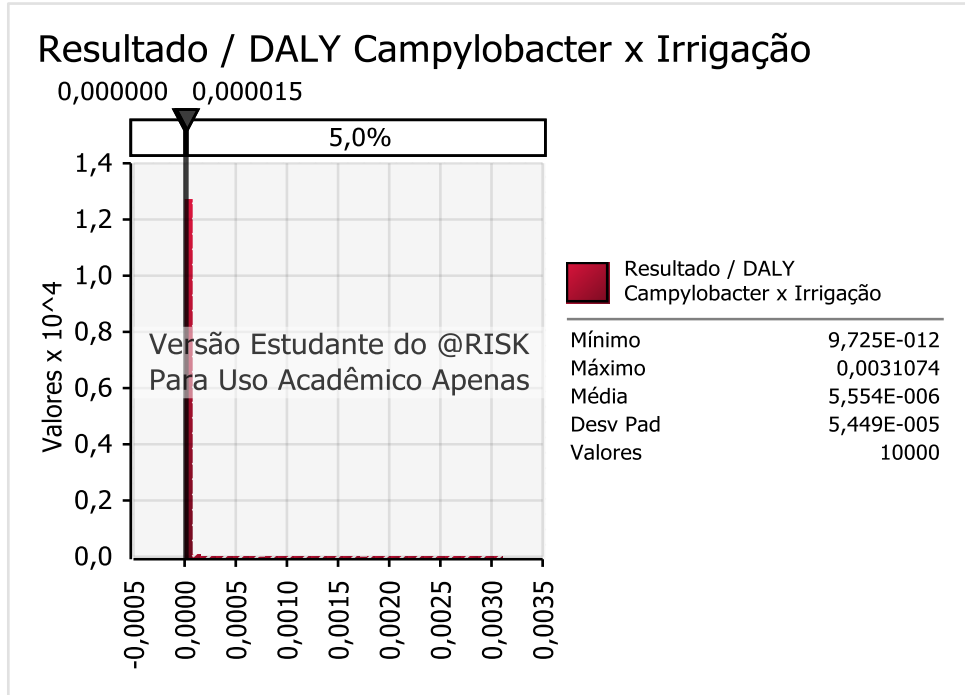


### Resultado / DALY Rotavírus x Descarga



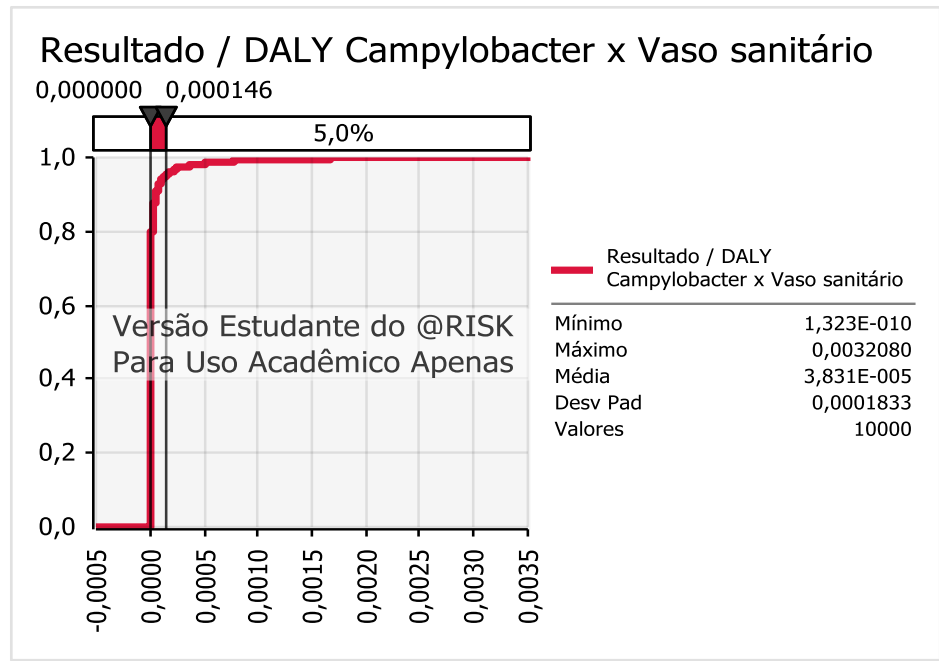
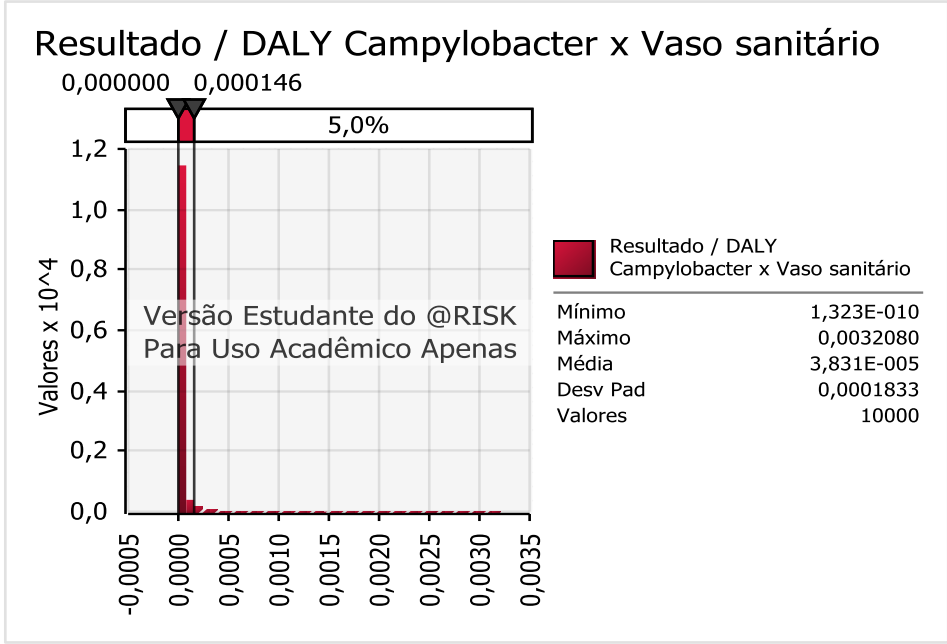
## B.5 Relatório Output do @RISK para Resultado / DALY Campylobacter x Irrigação

Sumário Estatístico para Resultado / DALY Campylobacter x Irrigação			
Estatísticas		Percentil	
<b>Mínimo</b>	9,73E-12	<b>5%</b>	2,45E-09
<b>Máximo</b>	3,11E-03	<b>10%</b>	6,81E-09
<b>Média</b>	5,55E-06	<b>15%</b>	1,22E-08
<b>Desv Pad</b>	5,45E-05	<b>20%</b>	2,09E-08
<b>Variância</b>	2,96906E-09	<b>25%</b>	3,25E-08
<b>Assimetria</b>	33,05044595	<b>30%</b>	4,87E-08
<b>Curtose</b>	1475,698997	<b>35%</b>	6,98E-08
<b>Mediana</b>	1,98E-07	<b>40%</b>	1,01E-07
<b>Moda</b>	1,91E-10	<b>45%</b>	1,42E-07
<b>X Esquerda</b>	2,45E-09	<b>50%</b>	1,98E-07
<b>P Esquerda</b>	5%	<b>55%</b>	2,70E-07
<b>X Direito</b>	1,50E-05	<b>60%</b>	3,76E-07
<b>P Direito</b>	95%	<b>65%</b>	5,29E-07
<b>Dif X</b>	1,50E-05	<b>70%</b>	7,52E-07
<b>Dif P</b>	90%	<b>75%</b>	1,12E-06
<b>Erros</b>	0	<b>80%</b>	1,76E-06
<b>Filtrar Min</b>	Desligado	<b>85%</b>	2,90E-06
<b>Filtrar Max</b>	Desligado	<b>90%</b>	5,59E-06
<b>Filtrados</b>	0	<b>95%</b>	1,50E-05



B.6 Relatório Output do @RISK para Resultado / DALY Campylobacter x Descarga de Vaso

Sumário Estatístico para Resultado / DALY			
Campylobacter x Vaso sanitário			
Estatísticas		Percentil	
<b>Mínimo</b>	1,32E-10	<b>5%</b>	2,42E-08
<b>Máximo</b>	3,21E-03	<b>10%</b>	6,02E-08
<b>Média</b>	3,83E-05	<b>15%</b>	1,16E-07
<b>Desv Pad</b>	1,83E-04	<b>20%</b>	1,97E-07
<b>Variância</b>	3,35889E-08	<b>25%</b>	3,08E-07
<b>Assimetria</b>	10,33761826	<b>30%</b>	4,73E-07
<b>Curtose</b>	135,005257	<b>35%</b>	7,05E-07
<b>Mediana</b>	1,92E-06	<b>40%</b>	9,94E-07
<b>Moda</b>	1,98E-09	<b>45%</b>	1,39E-06
<b>X Esquerda</b>	2,42E-08	<b>50%</b>	1,92E-06
<b>P Esquerda</b>	5%	<b>55%</b>	2,67E-06
<b>X Direito</b>	1,46E-04	<b>60%</b>	3,72E-06
<b>P Direito</b>	95%	<b>65%</b>	5,26E-06
<b>Dif X</b>	1,46E-04	<b>70%</b>	7,47E-06
<b>Dif P</b>	90%	<b>75%</b>	1,15E-05
<b>Erros</b>	0	<b>80%</b>	1,78E-05
<b>Filtrar Min</b>	Desligado	<b>85%</b>	2,96E-05
<b>Filtrar Max</b>	Desligado	<b>90%</b>	5,79E-05
<b>Filtrados</b>	0	<b>95%</b>	1,46E-04



### APÊNDICE C

Resultados do Ensaio do teste de armazenamento

27 de março de 2017

Bruta					
Cor: 35uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	1,3	15,6	6,83	0,308	29,0
8	0,6	-144,9	6,73	0,294	27,0
24	0,7	-134,3	6,97	0,320	29,8
48	0,5	-144,1	6,94	0,313	29,0
72	0,4	-148,8	7,03	0,296	26,2
96	0,3	-170,4	6,96	0,314	28,8
120	0,1	-175,0	6,96	0,309	28,2
144	0,3	-155,5	6,97	0,301	27,2
168	0,2	-169,3	7,12	0,300	26,7
192	0,1	-190,7	7,07	0,305	27,4
216	0,3	-182,3	7,02	0,301	28,2
Tratada					
Cor = 30 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	1,9	18,5	6,95	0,343	28,4
8	0,7	-22,4	7,03	0,337	27,0
24	0,3	-70,1	6,57	0,353	29,5
48	0,3	-80,4	6,60	0,346	28,7
72	0,3	-87,1	6,90	0,331	26,3
96	0,7	-51,3	6,84	0,348	28,2
120	0,5	-31,6	6,85	0,347	28,1
144	0,7	41,2	7,08	0,344	27,2
168	1,6	14,4	7,26	0,344	26,5
192	1,3	49,9	7,42	0,348	27,4
216	1,4	22,2	7,21	0,344	28,2

17 de abril de 2017

Bruta					
Cor = 50 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	0,7	35,4	6,86	0,306	28,2
8	0,2	-87,3	6,8	0,302	27,6
24	0,1	-119,7	6,85	0,288	26,2
48	0,1	-75,3	6,71	0,292	26,8
72	0,8	-130,6	6,74	0,287	25,7
96	0,6	-140,1	6,61	0,283	25,4
120	0,6	-144,7	6,6	0,290	26,1
144	0,3	-152,5	6,65	0,303	28,6
168	0,6	-176,5	6,88	0,296	27,6
192	0,2	-153,5	6,89	0,287	27,2
216	0,7	-112,5	6,97	0,297	27,5

Tratada					
Cor = 10					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	3,2	57,2	7,37	0,371	28,7
8	2,3	76,1	7,23	0,360	27,6
24	2,3	60,7	7,21	0,354	26,3
48	2,4	143,3	6,76	0,355	26,7
72	2,8	-3,5	6,73	0,346	25,7
96	2,7	11,5	6,88	0,347	25,4
120	2,8	2,8	6,72	0,353	26,2
144	2,4	3,5	7,01	0,371	28,5
168	2,4	4,9	7,04	0,362	27,5
192	2,4	-3,8	6,81	0,354	26,9
216	1,6	-26,2	6,6	0,354	27,6

19 de abril de 2017

Bruta					
Cor = 50 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	0,3	124,4	6,65	0,287	27,2
8	0,7	-3,2	6,62	0,285	26,2
24	0,5	-65,0	6,59	0,273	25,7
48	0,4	-71,2	6,37	0,276	25,3
72	0,4	-110,7	6,38	0,277	26,1
96	0,3	-118,7	6,52	0,292	28,5
120	1,1	-150,8	6,9	0,287	27,6
144	0,2	-192,3	6,89	0,294	27,2
168	0,3	-161,4	6,91	0,289	27,3
192	0,2	-114,3	6,84	0,280	25,7
216	0,4	-131,1	6,45	0,299	28,4

Tratada					
Cor = 2,5 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	0,2	153,8	6,83	0,450	27,3
8	0,4	51,2	6,82	0,342	26,2
24	0,3	-1,7	6,71	0,331	25,7
48	0,3	-22,1	6,75	0,330	25,3
72	0,4	-40,4	6,66	0,336	26,1
96	1	22,5	6,55	0,354	28,5
120	2,1	-30,8	7,08	0,354	27,4
144	2	-41,6	7,71	0,355	27,2
168	2	-19,9	7,1	0,343	27,1
192	2,3	5,4	7,11	0,332	25,3



03 de maio de 2017

Bruta					
Cor = 45 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	1,1	82,3	6,8	0,278	27,8
8	0,5	37,2	6,69	0,279	25,8
24	0,7	-58,4	6,91	0,281	26,1
48	0,3	-93,8	6,73	0,280	25,8
72	0,3	-210,3	6,52	0,286	27,7
96	0,3	-210,6	6,77	0,284	27,4
120	0,2	-212,9	6,88	0,274	26,2
144	0,3	-177,4	7,01	0,275	24,9
168	0,1	-193,9	6,77	0,286	26,3
192	0,3	-152,3	6,88	0,292	27
216	0,5	-139,2	7,2	0,303	27

Tratada					
Cor = 15 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	3,3	131,3	7,42	0,330	27,8
8	3,4	115,7	7,11	0,330	25,8
24	0,7	-31,2	6,76	0,334	26,1
48	2,1	84,9	7,19	0,331	25,8
72	2,7	93,6	7,24	0,346	27,7
96	3,5	84,4	7,52	0,333	27,4
120	3,5	82,4	7,52	0,333	26,2
144	4,1	79,7	7,43	0,328	24,9
168	3,2	99,6	7,18	0,340	26,3
192	3,5	112,2	7,42	0,344	27
216	4,5	137,5	7,6	0,344	27

08 de maio de 2017

Bruta					
Cor = 30 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	2,2	16,3	6,99	0,347	28,2
8	2,2	18,1	6,99	0,342	27,5
24	2,2	181,0	6,98	0,322	24,8
48	1,6	21,3	6,95	0,334	26,3
72	2,3	124,9	6,87	0,348	28,0
96	2,2	17,1	7,05	0,340	27,0
120	3	-36,8	7	0,340	26,3
144	2,7	19,7	7,09	0,347	27,0
168	2,7	33,0	7,08	0,342	27,5
192	3	70,2	7,05	0,332	28,3
216	3,3	136,0	7,04	0,333	27,9

Tratada					
Cor = 2,5 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	5,9	364,2	6,77	0,351	28,2
8	5,8	366,0	6,77	0,346	27,5
24	1,1	84,2	6,84	0,336	24,8
48	0,2	119,7	6,7	0,363	26,3
72	0,1	-28,7	6,76	0,367	28,0
96	0,3	-54,8	6,86	0,374	27,0
120	0,2	-58,9	6,95	0,371	26,3
144	0,2	-40,3	6,91	0,369	27,0
168	0,2	-50,3	6,86	0,370	27,5
192	0,2	-52,6	6,86	0,375	28,3
216	0,2	-50,2	6,87	0,373	27,9

10 de maio de 2017

Bruta					
Cor = 35 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	5,9	159,1	6,85	0,323	26,6
8	0,1	36,7	6,51	0,339	28,0
24	0,2	-3	6,72	0,345	27,2
48	0,1	2,8	6,7	0,340	26,7
72	0,3	6,1	6,68	0,340	27,0
96	0,1	-35,1	6,89	0,346	28,2
120	0,2	-2,3	6,84	0,300	26,6
144	0,6	67,6	6,83	0,285	26,5
168	0,8	68,7	6,92	0,285	26,5
192	1,2	70,2	7,04	0,285	26,7
216	1,3	74,3	7,25	0,282	26,3

Tratada					
Cor = 5 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	2,3	0,0	6,97	0,305	27,4
8	0,6	26,1	6,79	0,312	28,2
24	0,8	7,2	6,88	0,316	27,1
48	1,1	16,0	6,81	0,308	26,5
72	1,9	25,1	6,85	0,313	27,1
96	1,6	38,5	6,69	0,322	28,2
120	2	52,3	7,13	0,321	26,6
144	2,4	78,1	7,28	0,321	26,6
168	2,8	86,2	7,42	0,321	26,5
192	3,2	82,1	7,64	0,319	26,7
216	3,9	72,0	7,83	0,316	26,3

24 de maio de 2017

Bruta					
Cor = 40 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	9,8	214,8	7	0,323	26,4
8	7,2	155,4	6,82	0,325	26,2
24	0,5	119,9	6,64	0,327	25,6
48	0,5	71,4	6,76	0,339	25,6
72	0,4	-26,0	6,95	0,334	24,7
96	0,4	-88,2	6,98	0,334	24,9
120	0,3	-100,8	7,01	0,335	24,5
144	0,3	-140,7	7,05	0,337	24,7
168	0,2	-150,8	6,98	0,338	25,0
192	0,2	-174,5	6,98	0,341	25,2
216	0,2	-189,3	7	0,344	25,6

Tratada					
Cor = 15 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	3,4	97,2	7,38	0,320	27,2
8	2,9	111,2	7,24	0,314	27,1
8	2	120,0	7,08	0,310	25,7
24	3,8	124,2	6,92	0,309	25,5
48	3,7	110,9	7,37	0,309	24,8
72	3,6	99,1	7,22	0,310	24,9
96	3,5	84,3	7,18	0,309	24,5
120	3,4	72,6	7,15	0,309	24,7
144	3,5	78,2	7,3	0,310	25,0
168	3,8	82,7	7,45	0,313	25,3
192	3,9	55,9	7,47	0,315	25,7

20 de junho de 2017

Bruta					
Cor = 35 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	2,9	72,7	7,13	0,244	24,2
8	1,8	62,1	7,09	0,244	24,2
24	0,9	48,2	7,01	0,244	24,1
48	0,3	26,0	6,89	0,248	24,0
72	0,4	75,4	6,78	0,242	23,0
96	0,6	100,1	6,64	0,241	22,6
120	0,9	90,2	6,84	0,240	22,5
144	1,2	70,8	7,04	0,240	22,4
168	1,8	82,8	7,04	0,242	22,6
192	2,3	95,7	7,04	0,244	22,9
216	2,5	105,2	7,04	0,244	23,4

Tratada					
Cor = 5 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	2,7	63,8	7,49	0,300	24,4
8	2,3	65,3	7,39	0,300	24,2
24	2	68,6	7,29	0,300	24,1
48	1,4	72,4	7,09	0,300	24,0
72	2,4	92,6	7,16	0,296	23,0
96	3,2	105,9	7,24	0,292	22,6
120	3	86,3	7,32	0,291	22,5
144	2,8	75,8	7,43	0,290	22,4
168	3,3	83,3	7,5	0,293	22,9
192	3,9	98,8	7,55	0,295	22,6
216	3,7	102,4	7,52	0,294	22,5

22 de junho de 2017

Bruta					
Cor = 35 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	8,3	250,4	7,18	0,394	24,2
8	6,2	245,0	7,22	0,394	24,1
24	5,3	205,7	7,16	0,394	24,0
48	1,6	150,2	6,68	0,394	23,0
72	0,5	116,1	6,31	0,390	22,5
96	0,5	50,2	6,49	0,390	22,4
120	0,6	39,4	6,69	0,390	22,3
144	0,3	20,3	6,61	0,394	22,5
168	0,3	5,2	6,53	0,398	22,8
192	0,3	-11,4	6,58	0,398	22,7
216	0,3	-30,2	6,61	0,396	22,6

Tratada					
Cor = 30 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	1,1	4,0	7,02	0,362	24,2
8	0,8	-20,4	6,89	0,362	24,1
24	0,3	-133,6	6,85	0,362	24,0
48	0,3	-156,2	6,56	0,360	23,0
72	0,3	-131,1	6,18	0,356	22,7
96	0,3	-152,3	6,54	0,353	22,6
120	0,3	-179,1	6,75	0,351	22,5
144	0,3	-192,3	6,62	0,351	22,5
168	0,3	-221,7	6,58	0,351	22,8
192	0,2	-222,8	6,51	0,351	22,9
216	0,2	-219,3	6,52	0,351	22,8

11 de julho de 2017

Bruta					
Cor = 35 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	4,1	113,2	7,31	0,278	24,8
8	3,1	96,4	7,31	0,289	24,8
24	0,5	52,5	7,3	0,305	24,6
48	0,2	13,6	7,25	0,307	23,4
72	0,3	-7,1	7,32	0,330	25,2
96	0,3	-131,8	7,26	0,334	25,6
120	0,4	-147,7	7,21	0,320	23,4
144	0,5	-176,9	7,21	0,341	26,5
168	0,4	-187,1	7,1	0,319	23,1
192	0,3	-206,4	7,19	0,332	25,3
216	0,4	-203,6	7,23	0,327	24,7

Tratada					
Cor = 20 uH					
Tempo	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Condutividade	Temperatura
0	3,6	121,1	7,59	0,325	24,9
8	3,3	115,4	7,48	0,325	24,0
24	2,8	109,2	7,34	0,320	24,6
48	2,2	95,3	7,26	0,317	23,4
72	4,3	79,1	7,44	0,326	24,6
96	4,0	85,9	7,53	0,337	25,4
120	3,9	133,4	7,56	0,329	23,7
144	3,9	103,2	7,49	0,341	26,4
168	4,0	151,2	7,44	0,330	23,1
192	4,3	142,4	7,51	0,349	24,8
216	4,6	137,5	7,46	0,345	24,7