



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**MARIANA VERAS LIMA**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E AMBIENTAL DA EFICIÊNCIA DE ETE EM**  
**CONDOMÍNIO NO PORTO DAS DUNAS - FORTALEZA**

**FORTALEZA**

**2017**

MARIANA VERAS LIMA

AVALIAÇÃO TÉCNICA E AMBIENTAL DA EFICIÊNCIA DE ETE  
EM CONDOMÍNIO NO PORTO DAS DUNAS - FORTALEZA

Monografia do Trabalho Final de Curso de Engenharia Química, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Química.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- L699a Lima, Mariana Veras.  
Avaliação técnica e ambiental da eficiência de ETE em condomínio no Porto Das Dunas - Fortaleza /  
Mariana Veras Lima. – 2017.  
46 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. João José Hiluy Filho.
1. Gerenciamento de Água. 2. Estação de Tratamento de Efluentes. 3. Irrigação. I. Título.

CDD 660

---

MARIANA VERAS LIMA

AVALIAÇÃO TÉCNICA E AMBIENTAL DA EFICIÊNCIA DA ETE  
EM CONDOMÍNIO NO PORTO DAS DUNAS

Monografia do Trabalho Final do Curso de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Química.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. João José Hiluy Filho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Químico Industrial Alberto Augusto Cunha Neto  
ACN Tratamentus

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Mardônio Chaves de Lima e Sílvia Helena Veras Lima, pelo apoio, suporte e participação efetiva em toda a minha educação.

Aos membros da minha família - Vovó Maristela, Vovô Viana, Kikio, Kikia, Lara, Tia Célia, Germana e Davi – pela compreensão e pelos momentos vividos.

Aos meus amigos de faculdade - Marce, Aris, Regi, Samis, MY e Nat pelo companheirismo, pelos incansáveis dias de estudo na casa da Marce (obrigada também tia Mônica, Ivanir e Dona Terezinha), por toda a força que me deram e todo apoio em momentos difíceis da graduação e da vida.

Às minhas amigas do colégio – Isadora, Gabi, Taís e Rebeca – pelos anos juntas (fisicamente ou não) e a nossa amizade eterna.

Ao meu amigo da vida, David, pela amizade e companheirismo desses 7 anos apesar da distância que sempre nos separou.

Ao professor Hiluy por ter aceitado ser meu orientador e me orientado no trabalho, sempre se mostrando prestativo.

Ao coordenador de Manutenção Robson e ao analista técnico Alberto, pela visita guiada ao condomínio e por toda a ajuda fornecida.

Ao Daniel Lima pelo apoio técnico na análise do efluente.

## RESUMO

Com o crescente apelo em relação às questões ambientais de gerenciamento da água, o tratamento e reuso de efluentes em diversas escalas tem apresentado cada vez mais importância. Dada a preocupante crise hídrica que assola o Nordeste brasileiro, este trabalho consiste na avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes (ETE) em um condomínio localizado nessa região. O empreendimento trata o efluente gerado pelos condôminos em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) compacta que utiliza o efluente tratado para alimentação de um lago paisagístico localizado na propriedade e para a irrigação da extensa área verde. O trabalho apresenta resultados do monitoramento da estação através de análises de cloro livre, pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, coliformes fecais, turbidez e cor em comparação com a norma da ABNT, os padrões da UNEPA e SABESP e a resolução COEMA emitida pela SEMACE. Os resultados mostraram que os efluentes tratados pela ETE em questão estão adequados aos padrões, comprovando assim a eficiência do tratamento. Além disso, fez-se necessário também realizar uma avaliação técnica da estação, propondo-se algumas melhorias como construção de um tanque de contato adicional para o armazenamento do efluente após a ETE compacta e assim eliminar um gargalo de produção. Outra melhoria proposta foi a substituição do material suporte do Biofiltro Aerado Submerso (BAS) por anéis Pall, que apresentam características mais adequadas para esse tipo de tratamento. Todas as melhorias propostas no trabalho foram sugeridas com a intenção de melhorar a qualidade do efluente tratado e também a eficiência do sistema.

**Palavras-chaves:** *Gerenciamento de Água; Estação de Tratamento de Efluentes; Irrigação.*

## ABSTRACT

The increasing appeal regarding environmental management issues, the treatment and reuse of effluents at various scales has become increasingly important. Due to the worrying water crisis that ravages the Brazilian Northeast, this work will evaluate the Wastewater Treatment Plant (WWPP) in a residential complex located in this region. The residential complex treats the sewage water produced by its dwellers in a compact WWPP and uses the treated wastewater to feed a landscaped lake located on the property and for the irrigation of its extensive green area. This paper presents results of the monitoring of the station through analyzes of free chlorine, pH, temperature, total dissolved solids, fecal coliforms, turbidity and color in comparison with the ABNT standard, the UNEPA and SABESP standards, and the COEMA resolution issued by SEMACE. The results show that the wastewater treated by the WWPP meet the standards, thus proving the efficiency of the treatment. In addition, a technical evaluation of the plant was also carried out, proposing some improvements such as the construction of an additional contact tank to store the wastewater after the compact WWPP and thus eliminate a production bottleneck. Another suggested improvement was the replacement of the Submerged Aerated Biofilter (SAB) support material with Pall rings, which presents more adequate characteristics for this type of treatment. All improvements proposed in this work were suggested in order to improve the quality of the treated wastewater and also the efficiency of the system.

**Keywords:** *Water management; Wastewater Treatment Plant; Irrigation.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vazão Total de Retirada pro Microbacias no Brasil.....	16
Figura 2 - Reator UASB.....	21
Figura 3 - Biofiltro Aerado Submerso.....	22
Figura 4 - Imagem do empreendimento Mandara Kauai.....	29
Figura 5 - Vista da ETE horizontal.....	30
Figura 6 - Aspecto do efluente no reator UASB.....	31
Figura 7 - Aspecto do efluente no filtro submerso aerado.....	31
Figura 8 - Aspecto do efluente no decantador.....	32
Figura 9 - Esquema ilustrativo da ETE compacta horizontal.....	32
Figura 10 - Bombas dosadoras de cloro.....	33
Figura 11 - Tanque de contato 1.....	33
Figura 12 - Filtros de carvão (esquerda) e areia (direita).....	34
Figura 13 - Tanque de contato 2.....	35
Figura 14 - Vista panorâmica do lago.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade para água de reuso segundo ABNT.....	25
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade para água de reuso segundo USEPA.....	26
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade para água de reuso segundo ANA; FIESP; SINDUSCON.....	28
Tabela 4 - Parâmetros da estação e especificações de órgãos.....	37
Tabela 5 - Parâmetros antes e depois dos filtros.....	40
Tabela 6 – Média e desvio padrão das análises de sólidos totais.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BAS: Biofiltro Aerado Submerso

COEMA: Conselho Estadual de Meio Ambiente

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

CRT: Cloro Residual Total

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

OMS: Organização Mundial da Saúde

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEMACE; Superintendência de Meio Ambiente do Ceará

SST: Sólidos Suspensos Totais

UASB: Reator anaeróbio de fluxo ascendente

USEPA: *United States Environmental Protection Agency*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Justificativa</b> .....	12
<b>1.2 Objetivo Geral</b> .....	12
<b>1.3 Objetivos Específicos</b> .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
<b>2.1 Reutilização da água</b> .....	13
<b>2.2 Sistemas de tratamento de efluente</b> .....	17
<b>2.3 Estação de tratamento compactas</b> .....	20
<b>2.4 Tratamento Terciário de Águas Residuárias por Filtração</b> .....	24
<b>2.5 Aspectos legais para água de reuso</b> .....	24
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	28
<b>3.1 Condomínio de Apartamentos Mandara Kauai</b> .....	28
<b>3.2 Descrição da ETE</b> .....	29
<b>3.3 Classificação do reuso</b> .....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>4.1 Qualidade da água</b> .....	37
<b>4.2 Análise técnica da ETE</b> .....	38
<b>4.2.1 ETE compacta horizontal</b> .....	39
<b>4.2.2 Biofiltro aerado submerso</b> .....	39
<b>4.2.3 Tanque de contato 1</b> .....	39
<b>4.2.4 Filtros de areia e terra</b> .....	40

**5. CONCLUSÃO.....42**

**6. REFERÊNCIAS.....44**

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Justificativa**

A água é um recurso natural indispensável à vida no planeta Terra, possuindo inigualável valor econômico, ambiental e social. As primeiras formas de vida surgiram nos oceanos há cerca de 4 milhões de anos e grandes civilizações se desenvolveram no entorno de rios, como é o caso da civilização egípcia. A construção e a existência dessa civilização só foi possível pela existência do rio Nilo aliada a habilidade da população em lidar com as cheias do rio, controlar a água e desenvolver técnicas de irrigação e agricultura.

Por muitos milhares de anos, acreditava-se que a água era um recurso infinito dada a sua aparente abundância na natureza. Atualmente, entretanto, o desperdício aliado ao aumento na procura por este recurso indicam uma crise no abastecimento de água no mundo, a qual pode ser classificada em três tipos. A escassez física ocorre quando os recursos hídricos não conseguem atender à demanda da população, o que ocorre em regiões áridas. Já há outras regiões e países que vivem sob o risco de crises de abastecimento e de qualidade das águas pelo uso exagerado do recurso. O último tipo de escassez, em que o Nordeste brasileiro e o continente africano estão classificados, é a escassez econômica, que ocorre devido à falta de investimento e é caracterizada por pouca infraestrutura e distribuição desigual de água.

Apesar de o Brasil deter entre 12 e 16% da água doce da superfície terrestre, possuir bons índices de chuva e abrigar o maior aquífero do mundo, o país sofre com a distribuição irregular, o desperdício exacerbado e a poluição. Assim, faz-se necessário implantar uma gestão de recursos hídricos integrada que, além de otimizar os usos da água, seja capaz de aproveitá-la por meio da reutilização, do tratamento adequado e a baixo custo e a economia de água.

### **1.2. Objetivo Geral**

Elaborar análise ambiental e técnica da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do Condomínio Mandara Kauai.

### **1.3 Objetivos Específicos**

- Analisar as tecnologias utilizadas no tratamento de efluentes, verificando sua eficiência;
- Verificar a qualidade do efluente tratado;

- Propor melhorias técnicas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Reutilização da água**

O reuso de água tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos, não sendo assim considerada uma prática recente; existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Entretanto, atualmente ainda se faz necessário conscientizar a população dos problemas atuais de escassez de água e se discutir sobre o reuso deste recurso, que hoje em dia pode ser realizado com soluções modernas de gestão hídrica.

O reaproveitamento ou reuso da água é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outros fins, tais como lavagem de vias e pátios, irrigação de jardins, descargas dos banheiros, etc. Essa prática, dessa forma, reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior, contanto que atenda os padrões de potabilidade das finalidades que podem prescindir desse recurso. Ainda assim, é importante considerar que o reuso de água é apenas uma parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente deste recurso, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água.

A prática de reuso de água, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), pode ocorrer de forma indireta ou direta.

O reuso direto planejado da água ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente do seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. Esse tipo de reuso é o mais comum na indústria e na irrigação.

Já o reuso indireto não planejado ocorre quando a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. No percurso até o ponto de captação para novo uso, o líquido está sujeito às ações naturais do ciclo hidrológico.

No reuso indireto planejado, os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas para serem utilizadas a jusante.

Assim, esse processo ocorre de maneira controlada no atendimento de algum uso benéfico. Esse tipo de reuso também pressupõe que exista um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reuso objetivado.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) adota uma outra classificação de reuso de água, amplamente adotada por sua praticidade e facilidade, que é dividida em duas categorias: potável e não potável.

O reuso potável é direto quando o efluente recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. Por sua vez, é indireto no caso em que o efluente, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

O reuso é considerado não potável quando não exige níveis elevados de tratamento. Dessa forma, é bastante amplo e diversificado, viável economicamente e vem se desenvolvendo rapidamente. Como apresenta uma grande diversidade de usos, pode ser classificado nas seguintes categorias:

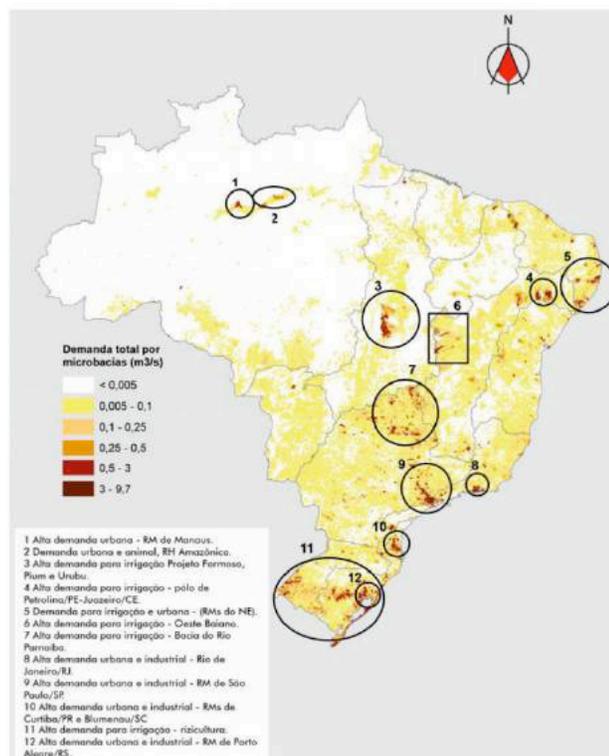
- Fins agrícolas: tem como objetivo a irrigação de plantas alimentícias e não alimentícias, sendo também aplicável para dessedentação de animais.
- Fins industriais: utilizada para refrigeração, caldeiras, águas de processo, etc.
- Fins recreacionais: utilizada para irrigação de plantas ornamentais, enchimento de lagos ornamentais, irrigação de campos e parques, etc.
- Fins domésticos: utilizada para a rega de jardins, descargas sanitárias, etc.
- Aquicultura: utiliza os efluentes tratados para produzir peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia.
- Recarga de aquíferos subterrâneos: consiste em recarregar de forma direta ou indireta os aquíferos com os efluentes tratados.

Há vários exemplos de reabastecimento de aquíferos no Estados Unidos tanto por injeção quanto por infiltração. Essa prática ocorre bastante na região da Califórnia por conta da preocupação com água contaminada e os lençóis subterrâneos; dessa forma, é evitado que o aquífero seja contaminado pela água do mar e ajuda a fonte a permanecer sempre com uma quantidade de água.

Bons exemplos de gestão de água não estão, entretanto, presentes apenas em países desenvolvidos; há países mais pobres que também encontraram boas soluções para a crise hídrica. A Namíbia é um bom exemplo disso: o país africano investiu em tratamento do efluente e no reuso direto dessa água como potável. Esse resultado foi obtido com a instalação de uma planta de tratamento avançado de efluentes em 1968, sendo responsável por 35% da água potável da cidade em períodos normais e até 50% em períodos com oferta limitada de recursos hídricos. Outro caso de sucesso foi em Cingapura, que se assemelha bastante com o da Namíbia; porém, naquele, grande parte da água reciclada foi direcionada para o uso em indústrias. Já em Israel, foram desenvolvidas técnicas de irrigação mais eficientes e cerca de 80% a 90% dos efluentes tratados são reutilizados, além da instalação de usinas de dessalinização. Outros países que também investem nessas usinas são a Inglaterra e a Austrália. Por fim, no Japão, as indústrias só utilizam água de reuso e em Tóquio, nos prédios maiores que 10 mil m<sup>2</sup> é obrigatória a existência de um sistema de tratamento e reuso da água.

O Brasil, como os países supramencionados, atualmente apresenta algumas das condições que fazem do reuso de água uma solução viável. Na figura 1, vê-se as regiões que demandam mais água e percebe-se que há oportunidades no país para muitas das modalidades de reuso de água, incluindo reuso agrícola, industrial, municipal e potável.

Figura 1 - Vazão Total de Retirada pro Microbacias no Brasil



Fonte: [http://abes-dn.org.br/pdf/Reuso\\_nas\\_Crises.pdf](http://abes-dn.org.br/pdf/Reuso_nas_Crises.pdf). Acesso em: 2 de outubro de 2017

Das regiões com maior vulnerabilidade hídrica e grande demanda para fins urbanos/industriais, destaca-se a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), que vem enfrentando desde meados de 2014 uma crise de abastecimento hídrico. Essa crise aliou problemas de infraestrutura e de gestão com escassez de chuvas na região sudeste e seus reservatórios principais de água.

Em alguns locais do país já ocorre reuso não potável planejado, como postos de combustível e empresas de transporte que coletam e tratam a água utilizada para lavagem de carros; prédios e shoppings tratam os efluentes produzidos no local para utilização em descargas de sanitários e irrigação de jardins; a Petrobras afirma realizar reuso de água de 23 bilhões de litros de água no ano de 2014, entre outros. Além dos projetos de sucesso, há outros projetos em

andamento, como a instalação de uma ETE em Campinas que tenha efluente com qualidade suficiente para atender aos padrões de potabilidade e realizar reuso potável direto.

Para regulamentar os projetos de reuso de água, existem atualmente no Brasil as seguintes leis e resoluções pertinentes:

- Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433 de 1997): institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Lei 9.034 de 27 de dezembro de 1994 que dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos
- A Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH): Resolução nº 54 de 24 de novembro de 2005 que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso não potável de água;
- CNRH: Resolução nº 121 de 16 de dezembro de 2010 que estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal
- Existem também várias leis e resoluções municipais. No município de Campinas por exemplo, a água de reuso poderá ser utilizada desde que atenda aos requisitos da Resolução Municipal conjunta SVDS/SMS nº09/2014 de 04/08/2014;

Podem-se listar alguns potenciais obstáculos para a implantação de projetos de reuso. Inicialmente, é necessário realizar análises para identificar se o projeto de reuso é vantajoso economicamente, independente de sua escala. Além disso, também é essencial analisar o reuso ambientalmente, isto é, comparar a qualidade da água tratada por dada tecnologia de reuso com a água tratada por outra tecnologia ou por outro fornecedor; por outro lado a aceitação popular também é outro critério a ser levado em consideração. Como o reuso de água é geralmente desconhecido no Brasil, particularmente para reuso potável, no curto prazo, transparência e disseminação de informação são extremamente necessários.

## **2.2 Sistemas de tratamento de efluentes**

Para realizar o reuso da água, é necessário que o efluente seja tratado por uma série de operações unitárias empregadas para remoção de substâncias indesejáveis ou para transformação destas substâncias em outras de forma aceitável. Para tanto, utilizam-se os processos físicos,

químicos ou biológicos para remover as cargas poluentes do efluente e devolvê-lo o efluente tratado em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental pertinente.

Os processos de tratamento biológico são projetados para remover matéria orgânica dissolvida e suspensa em águas residuais e as condições ambientais são otimizadas para estimular o crescimento de microrganismos que utilizam os compostos orgânicos como substrato. Esses processos podem ser aeróbios, isto é, ocorrem na presença de oxigênio, ou anaeróbios, que ocorrem na ausência de oxigênio. Esses processos removem também outros componentes de águas residuais, como sólidos em suspensão, nitrogênio, fósforo, e metais pesados. Em geral, os tratamentos biológicos são métodos mais sustentáveis, eficientes e econômicos para eliminar resíduos de águas e efluentes.

Os processos físicos de tratamento mais comumente utilizados para efluentes com substâncias ou coloides insolúveis em água são decantação, filtração ou separação centrífuga. Além disso, podem ser empregadas grades, filtros ou até mesmo membranas de filtração. Existe um processo chamado biorreator de membrana, que consiste em integrar uma membrana de permeabilidade seletiva com um processo biológico. Esse processo é considerado caro mas eficiente.

Os processos químicos agilizam a desinfecção dos efluentes, induzindo assim reações químicas. Eles são geralmente associados a processos biológicos e físicos para maior eficiência e os mais comuns são coagulação química, precipitação química, oxidação e estabilização.

Em uma estação de tratamento convencional, o efluente passa por cinco etapas: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento do lodo e tratamento terciário.

No pré-tratamento, o efluente passa por dois processos, o gradeamento e a desarenação. A finalidade dessa etapa é sujeitar os efluentes a fortes processos de separação de sólidos. No gradeamento, são retirados os sólidos de maiores dimensões. Isso é feito através de grades metálicas, que funcionam como uma barreira. Esse processo é importante para proteger todo o equipamento da ETE de materiais muito grandes que podem vir a danificar os dispositivos ao longo do tratamento de efluentes, como corpos receptores, bombas, tubulações e unidades subsequentes. Em seguida, o efluente passa pelo processo de desarenação, no qual são removidos

todos os flocos de areia através da técnica de sedimentação. Retirando a areia dos efluentes, evita-se obstrução nos tanques, tubulações, orifícios e sifões da ETE, além de facilitar o transporte do líquido.

A etapa de tratamento primário é constituída basicamente por processos físico-químicos. O principal objetivo deste processo é a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes e parte da matéria orgânica em suspensão. Os processos principais envolvidos nessa etapa são a neutralização e equalização da carga com o uso de produtos químicos, floculação e decantação primária, onde o lodo e o líquido são separados. Nesse estágio, a matéria poluente que permanece na água é de dimensões reduzidas, normalmente formadas por coloides, o que a impede de ser removida a partir de então apenas por processos físico-químicos.

A etapa de tratamento secundário é constituída basicamente por processos bioquímicos como lodo ativado e filtro biológico, que podem ser aeróbicos ou anaeróbicos. O principal objetivo aqui é a remoção da matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão que não foi removida no tratamento primário. Se bem realizado, o tratamento secundário permite se obter um efluente em conformidade com a legislação ambiental. Nos processos aeróbios, há a simulação do processo natural de decomposição, e a eficiência é maior em partículas finas em suspensão. Já nos processos anaeróbios ocorre a ação de microrganismos (bactérias, protozoários, fungos etc.), que consomem a matéria orgânica dentro de tanques de aeração. Nos tanques de aeração, os microrganismos se alimentam da matéria orgânica e a convertem em gás carbônico, material celular e água. O efluente, quando sai do reator, possui pouca quantidade de matéria orgânica, com uma eficiência em torno de 95% dependendo da ETE. Em seguida, o efluente passa por um processo de decantação secundário, no qual ocorre sua clarificação. Os decantadores são os equipamentos responsáveis por separar os sólidos em suspensão no tanque de aeração, permitindo a saída de um efluente clarificado, e pela sedimentação dos sólidos em suspensão na parte inferior, possibilitando o retorno do lodo em concentração mais elevada.

O efluente, após essa etapa, pode ser usado para lavagem de ruas ou rega de jardins. Entretanto, também pode ainda ser submetido a outros tratamentos avançados, caso seja desejado a obtenção de água de melhor qualidade.

Os processos de polimento podem ser de osmose reversa, ozonização, cloração, e troca iônica, dentre outros.

### 2.3 Estação de tratamento compactas

Para a definição acertada da tecnologia a ser implantada em um empreendimento, é importante ser avaliado o espaço físico do mesmo. Para alguns empreendimentos, o baixo volume de efluente bruto é agregado ao fator espaço físico, dando condições à implantação de uma ETE compacta, como em condomínios residenciais e comerciais ou em pequenos municípios.

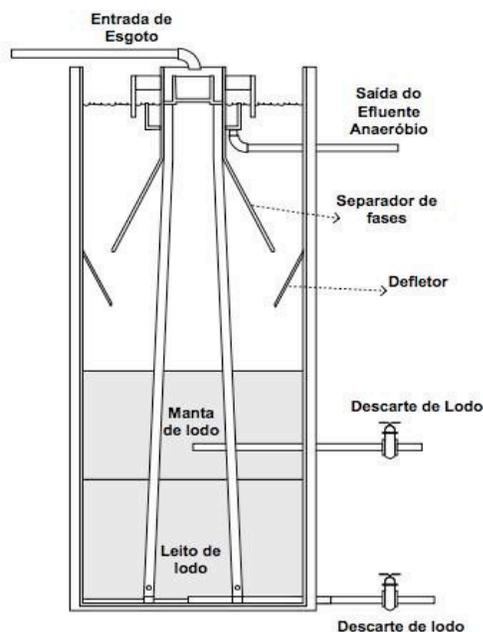
Segundo Barbosa (2009), A utilização de ETEs compactas tem sido apresentada como uma alternativa viável associada a um sistema simplificado de tratamento de efluentes que conjuga baixos custos de implantação, manutenção e operação. Os processos de tratamento adotados para ETEs compactas podem ser anaeróbios, aeróbios ou a combinação de anaeróbio e aeróbio. Os sistemas anaeróbios, apesar de consumir menos energia e produzir menos lodo que os sistemas aeróbios, produzem efluente que não apresenta características suficientes do ponto de vista legal e ambiental de lançamento, sendo necessária adição de um pós-tratamento. Os sistemas aeróbios, por sua vez, apesar de promoverem uma excelente remoção de matéria orgânica, são bastante onerosos pois necessitam de energia para aeração e produzem muito lodo de baixa concentração e alto grau de instabilidade.

Assim, utilizando uma tecnologia mista, é possível promover um equilíbrio entre as vantagens e desvantagens dos sistemas anaeróbios e aeróbios. Um sistema bastante viável consiste de reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), seguido de biofiltro aerado submerso, decantador e posterior desinfecção com cloro.

No UASB, representado na Figura 2, a matéria orgânica contida no efluente é estabilizada anaerobiamente por bactérias dispersas no reator. Estas bactérias crescem e acabam formando uma biomassa (ou manta de lodo) que apresenta concentração bastante elevada no reator. Devido a esta elevada concentração, o volume requerido para os reatores anaeróbios de manta de lodo é bastante reduzido em comparação com outros sistemas de tratamento (von Sperling, 1996a). Como o fluxo do efluente no reator é ascendente, a medida que o mesmo atravessa a manta de lodo, as bactérias agem sobre a matéria orgânica. Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases (principalmente metano e gás carbônico), cujas bolhas também apresentam tendência ascendente. Visto que o biogás tem potencial energético, uma opção é utilizá-lo como alternativa para reduzir o consumo de eletricidade proveniente da rede.

De forma a reter a biomassa no sistema, impedindo que ela saia com o efluente, a parte superior dos reatores UASB apresentam uma estrutura que possibilita as funções de separação e acúmulo de gás e de separação e retorno dos sólidos (biomassa). A operação do UASB estabiliza 70% da matéria orgânica do efluente.

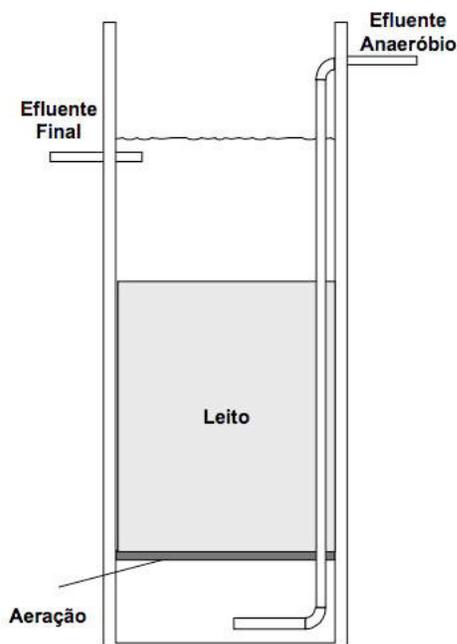
Figura 2 - Reator UASB



Fonte: VERONEZ, F. A.

O filtro aerado submerso, que está esquematizado na Figura 3 consiste em um reator biológico trifásico que é preenchido por material poroso e mantido totalmente submerso. Através dele, o efluente flui de forma ascendente, juntamente com a quantidade de ar necessária para realizar sua oxidação biológica. Os biofiltros aerados submersos são compactos e possuem elevada eficiência na remoção de matéria orgânica. Sua principal desvantagem consiste na necessidade de lavagens periódicas para reduzir perdas de carga hidráulica. No caso de se tratar de unidade de pós-tratamento de reatores, entretanto, a utilização dessa tecnologia é uma boa solução, visto que o efluente anaeróbico apresenta baixas concentrações de matéria orgânica, o que diminui a carga aplicada aos biofiltros.

Figura 3 - Biofiltro Aerado Submerso



Fonte: VERONEZ, F. A.

Segundo GIUSTINA, S. V. D.; MIRANDA, L. A. S.; et al. (2010), a seleção do material-suporte é uma etapa crítica do projeto e da operação de um sistema envolvendo um biofiltro aerado submerso, pois deve permitir a fixação dos microrganismos e reter fisicamente os sólidos suspensos presentes no efluente. Diversos materiais, que podem ser classificados em minerais ou sintéticos, podem ser empregados para este fim. Dentre os materiais minerais, os mais largamente empregados são os grãos de argila calcinada ou xisto expandido. Já dentre os materiais sintéticos, os mais empregados estão o poliestireno, polipropileno, PVC e plástico. A utilização de materiais sintéticos intensificou-se no início dos anos 90 apesar do preço desses materiais serem mais elevados do que os de origem mineral. Isso se dá pois parte do custo adicional pode ser compensado por uma menor demanda energética para fluidização durante a lavagem.

As características mais importantes para o material a ser empregado são as de superfície, principalmente a superfície específica e a rugosidade, por facilitarem a adesão da biomassa. Além disso, o coeficiente de vazios facilita deve ser alto e o peso baixo.

Della Giustina (2010) testou o BAS com três tipos de meio-suporte: BAS 1 com tampas e gargalos de garrafas PET ( $165\text{m}^2/\text{m}^3$ ), BAS 2 com pedra britada nº4 ( $50\text{m}^2/\text{m}^3$ ) e anéis Pall 1,5”( $135\text{m}^2/\text{m}^3$ ). Observou-se que ao utilizar tampas e gargalos de garrafas PET e anéis Pall, materiais com elevados índices de vazios, a elevada remoção de sólidos suspensos foi possibilitada. Além disso, para esses mesmos materiais suportes, obteve-se elevada estabilidade nos valores dos parâmetros para o efluente final, independentemente da variabilidade do efluente bruto. A utilização desses recheios mostrou-se, assim, ser uma excelente alternativa para o tratamento e efluente sanitário.

O sistema combinado de UASB e Biofiltro aerado submerso (BAS) é uma tecnologia que já se encontra consolidada e, como vantagem prática do uso desta associação, pode-se citar: a compactidade de ETEs que podem ser usadas em áreas urbanas, densas, inclusive em subsolo de edifícios, o aspecto modular, a rápida entrada em regime, a resistência à cargas de choque.

Além disso, o sistema apresenta vantagens pelo fato da eficiência de remoção de DBO pelo reator UASB apresentar possibilidade de redução de cerca de metade do volume dos reatores biológicos aeróbios. Nesse caso, o custo de implantação da ETE com reator UASB seguido de tratamento biológico aeróbio é de no máximo 80% daquele de uma ETE convencional (Silva, 1993 apud Além Sobrinho & Jordão, 2001).

O decantador de placas paralelas, equipamento posterior ao BAS, é um dispositivo de segurança para a retenção de partículas de lodo que, por ventura, vieram a se desprender da camada filtrante do biofiltro. Nesse equipamento, o efluente tratado é introduzido sob as lâminas paralelas inclinadas, de forma que haja a sedimentação do lodo.

Visando agregar esse sucessivo tratamento, uma forma de ETE compacta eficiente é a ETE modular, onde os reatores são associados em um só módulo. Esses tanques compactos podem ser horizontais ou verticais e divididos em 3 ou 4 etapas, possibilitando que grande parte do processo ocorra em um só volume. Segundo Onyeka Nkwonta (2010), vantagens significativas dos tanques horizontais incluem simplicidade de design, facilidade de operação e manutenção, custo e confiabilidade. Os tanques horizontais, segundo o mesmo autor, apresentam um melhor desempenho que os verticais devido ao comprimento ilimitado do tanque, layout simples e menor susceptibilidade a ruptura causada por mudanças nas taxas de fluxo.

## **2.4 Tratamento Terciário de Águas Residuárias por Filtração**

A filtração consiste na remoção de partículas em suspensão e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso.

Atualmente, a filtração em areia está sendo amplamente utilizada como tratamento terciário de águas residuárias, principalmente para remover sólidos orgânicos e matéria orgânica. Para esse tipo de tratamento, a filtração é chamada de rápida, apresentando alta taxa superficial. Nesses filtros, a água desce por gravidade a alta velocidade. Há diversos tipos de meios filtrantes, sendo a areia de sílica o material base na maior parte dos filtros atuais.

O carvão ativado granular, devido a sua porosidade, área superficial e rugosidade, tem a capacidade de funcionar como suporte para uma densidade alta de microrganismos, quando comparado com os materiais filtrantes, como areia e antracito. Assim, o filtro de carvão ativado remove a cor e reduz o potencial de formação de subprodutos tóxicos por meio da adsorção desses compostos (BRITO & RANGEL, 2008).

Após certo tempo de funcionamento, há necessidade da lavagem do filtro; geralmente, realizada pela introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular com liberação das impurezas (DI BERNARDO, 2005 e SALCEDO et al., 2011).

## **2.5 Aspectos legais para água de reuso**

Uma das possíveis soluções para o problema de oferta e demanda dos recursos hídricos, como citado previamente, é o uso de águas residuárias. No entanto, é necessário regulamentá-lo para permitir que essa prática se desenvolva de acordo com os princípios legais e técnicos adequados, de forma a impedir o oferecimento de água contaminada por poluentes de qualquer natureza e assim assegurar a saúde do usuário e promover a preservação do meio ambiente.

O Brasil ainda carece de critérios e legislações específicas para o reuso, o que pode ser explicado pelo fato de que somente na Constituição Federal de 1988 instalou-se a consciência de que os recursos hídricos são finitos. Portanto, o que se tem praticado é a adoção dos padrões

internacionais, adoção de orientações técnicas produzidas por instituições privadas e ou a Organização Mundial da Saúde. (NARDOCCI apud FIORI, 2005).

Em 1997, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a Norma 13.969, que dispõe sobre providências e cuidados, bem como fornece instruções a respeito de efluentes de origem doméstica. A Norma determina que esse tipo de efluente deve ser reutilizado para fins em que não haja exigência de água potável, desde que seja sanitariamente segura. Os usos possíveis seriam: irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagísticas dos lagos e canais com água (ABNT, 1997). Os parâmetros de qualidade para a água de reuso segundo a ABNT estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade para água de reuso segundo ABNT

<b>Classes</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Comentários</b>
<b>Classe 1</b> – Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· turbidez - &lt; 5 UNT;</li> <li>· coliforme fecal – inferior a 200 NMP/100ml;</li> <li>· sólidos dissolvidos totais &lt; 200 mg/l</li> <li>· pH entre 6.0 e 8.0;</li> <li>· cloro residual entre 0,5 mg/l e 1,5 mg/l</li> </ul>	Nesse nível, serão geralmente necessários tratamentos aeróbios (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguidos por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante.
<b>Classe 2</b> – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes:	<ul style="list-style-type: none"> <li>· turbidez - &lt; 5 UNT;</li> <li>· coliforme fecal – inferior a 500 NMP/100ml;</li> <li>· cloro residual superior a 0,5 mg/l</li> </ul>	Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes;
<b>Classe 3</b> – Reúso nas descargas das bacias sanitárias	<ul style="list-style-type: none"> <li>· turbidez - &lt; 10 UNT;</li> <li>· coliforme fecal – inferior a 500 NMP/100ml;</li> </ul>	Normalmente, as águas de enxágüe das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão.
<b>Classe 4</b> – Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· coliforme fecal – inferior a 5.000 NMP/100ml;</li> <li>· oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/l</li> </ul>	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: Adaptado NBR 13969/97

Além de dispor sobre os parâmetros de reuso de água, essa norma também instrui o planejamento de reuso local de efluentes, permitindo assim que os custos de implantação e de operação sejam minimizados. Assim, devem ser definidos os usos previstos para os efluentes

tratados, o volume de efluentes que será reutilizado, o grau de tratamento necessário e o sistema de reserva e distribuição deve ser devidamente identificado para que não ocorra uso errôneo.

Além disso, é essencial que haja um manual de operação do sistema de reuso e que os responsáveis sejam devidamente treinados. Por fim, todos os processos de tratamento e disposição final de efluentes devem ser submetidos a uma avaliação periódica de desempenho, tanto para determinar o grau de poluição causado pelo sistema de tratamento implantando como para avaliação do sistema implantando em si, para efeitos de garantia do processo.

Outro órgão que indica parâmetros para a água de reuso é a USEPA (Agência Norte Americana de Proteção Ambiental) e estes estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade para água de reuso segundo USEPA

<b>Tipo de Cultura</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Qualidade do Efluente</b>
Culturas alimentícias não processadas comercialmente <sup>(1)</sup> ; irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura (incluindo culturas consumidas cruas)	Secundário + filtração + desinfecção <sup>(2) (3)</sup>	pH = 6 a 9 DBO ≤ 10 mg.L <sup>-1</sup> Turbidez ≤ 2uT <sup>(4)</sup> CRT ≥ 1mg.L <sup>-1(5) (6)</sup> CTer.= ND <sup>(7)</sup> Org. Pat. = ND

Fonte: USEPA (2004) adaptado de Alves (2009)

Além dos outros órgãos supramencionados, a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) é outro órgão que indica parâmetros para água de reuso. Eis os parâmetros para uso da água em áreas verdes, lavagens de pisos, pátios públicos:

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) < 25 mg/L
- SST (Sólidos Suspensos Totais) < 35 mg/L
- CRT (Cloro Residual Total): entre 2 e 10 mg/L
- Turbidez < 20 uT
- pH entre 6 e 9
- Óleos e Graxas: visualmente ausentes

- Coliforme Fecal < 200 NMP/100 MI

A SEMACE, em 02 de fevereiro de 2017, apresentou novas regras para o reuso ou o lançamento no solo de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Somente os empreendimentos que assegurem a qualidade da água que volta para o consumo e que previnam a contaminação de mananciais serão licenciados ou terão as licenças renovadas. No que concerne o reuso externo de efluentes sanitários para fins urbanos, os parâmetros específicos a serem obedecidos são os seguintes:

I - Coliformes termo tolerantes: até 5000 CT/100 mL.

II - Ovos geohelmintos: até 1<sup>o</sup>vo/L de amostra;

III - Condutividade elétrica: até 3000  $\mu$ S/cm;

IV - pH entre 6,0 e 8,5;

Parágrafo único. Para fins de irrigação paisagística, o parâmetro Coliformes termo tolerantes deve ser até 1000 CT/100mL.

Em 2005, a FIESP publicou um Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações discorrendo sobre parâmetros para diversas classificações de água de reuso. A água de reuso Classe 3 tem seu uso preponderante para a irrigação de áreas verdes e rega de jardins.

Neste caso, a maior preocupação do emprego da água de reuso fica condicionada às concentrações de contaminante biológicos e químicos, incidindo sobre o meio ambiente e o homem. Os aspectos condicionantes para essa aplicação incidem principalmente sobre a saúde pública, a vegetação e o lado estético. Os parâmetros de qualidade da FIESP para este tipo de água de reuso estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade para água de reuso segundo ANA; FIESP; SINDUSCON

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

Fonte: ANA; FIESP; SINDUSCON (2005) – Conservação e Reuso da Água em Edificações – Reuso Classe 3

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Condomínio de Apartamentos Mandara Kauai

A investigação e coleta de dados foram realizadas no Condomínio de Apartamentos Mandara Kauai, localizado na Estrada para o Porto das Dunas S/N – Porto das Dunas, Aquiraz – CE, 61700-000 (3°52'00.2"S 38°22'33.7"W). O condomínio residencial, ilustrado pela figura 4, foi construído em 2015 pelas empresas Tecnisa e Cyrela Brazil Realty e é formado por 17 torres semelhantes. O empreendimento possui um terreno de mais 85.900 m<sup>2</sup>, contando com 5.400 m<sup>2</sup> de complexo aquático integrado a uma vasta área verde e paisagística. No total, conta com 216 unidades residenciais, sendo uma delas chamada Village A (Moana) com 148,69 m<sup>2</sup>, a segunda Village B (Makani) com 113,65 m<sup>2</sup> ou 125,94 m<sup>2</sup>.

Figura 4 - Imagem do empreendimento Mandara Kauai



Fonte: Site Mandara Kauai

O empreendimento conta com diversas práticas sustentáveis como coleta de pilhas e baterias usadas, infraestrutura para seleção e armazenamento de materiais recicláveis, dispositivos economizadores de água e medidores individuais de água e gás que reduzem o desperdício e facilitam a identificação de vazamentos.

Além disso, o mesmo conta com uma estação de tratamento de água (ETA) e de efluentes (ETEI), que foram construídas juntamente com a construção do empreendimento.

### **3.2 Descrição da ETE**

A Estação de Tratamento de Efluentes do Condomínio Mandara Kauai utiliza o sistema de ETE modular compacta, que combina o tratamento aeróbio com o anaeróbio.

Inicialmente, o efluente de todo o condomínio é coletado por meio de duas elevatórias de efluente externas. Em seguida, o efluente passa pelo tratamento preliminar, atravessando um gradeamento para a retenção de sólidos de maior tamanho. Após passar pelo processo de gradeamento, o efluente é encaminhado para uma outra elevatória e, em seguida, é impulsionado por bombas para um tanque cilíndrico que está ilustrado.

Figura 5 - Vista da ETE horizontal



Fonte: Próprio autor (2017)

Ambos os tanques ilustrados na Figura 5 foram fabricados em outubro de 2014 pela Engetrate Ind. e Com. LTDA e são do modelo ENGBIO 2X100, cada um com diâmetro de 3m e comprimento de 12m e pressão de trabalho de 1 atm. Cada um deles apresenta uma vazão unitária de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  e vazão total de  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ . O tempo de residência aproximado nos tanques é de 5 a 7h.

O primeiro tratamento a que o efluente é submetido é um reator UASB, onde a matéria orgânica contida no efluente é estabilizada de forma anaeróbia por bactérias dispersas no reator. Uma manta de lodo é formada no reator por conta da ação das bactérias e é necessário que seja feita uma descarga do excesso de lodo por meio de dois registros localizados no fundo do reator. Há uma elevatória exclusiva para o descarte de lodo e o mesmo, posteriormente, recolhido por um caminhão-pipa. O aspecto do efluente no reator UASB está representado pela Figura 6.

Figura 6 - Aspecto do efluente no reator UASB



Fonte: Próprio autor (2017)

Em seguida, o efluente segue para o filtro submerso aerado, onde o restante da matéria orgânica não processada pelo reator UASB irá ser removida por meio da oxidação biológica. Nesse biofiltro, o material suporte utilizado para as bactérias são aparas de eletroduto corrugado de 20mm. O aspecto do efluente nesse equipamento está representado na Figura 7.

Figura 7 - Aspecto do efluente no filtro submerso aerado



Fonte: Próprio autor (2017)

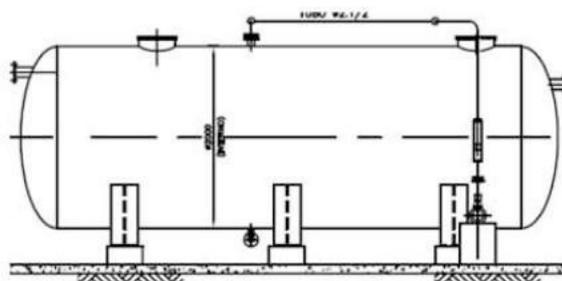
Posteriormente, o efluente passa por um decantador de placas paralelas, que promoverá a decantação do que ainda restar de lodo no efluente. O efluente já apresenta uma aparência bem mais clarificada nesse equipamento, que pode ser vista na Figura 8. Na Figura 9 está ilustrado um esquema da ETE compacta horizontal presente no condomínio.

Figura 8 - Aspecto do efluente no decantador



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 9 - Esquema ilustrativo da ETE compacta horizontal



Fonte: Ambiental MS

Em seguida, o efluente segue para o tanque de contato, que funciona como um tanque pulmão para o processo. Esse tanque tem capacidade de aproximadamente 3 m<sup>3</sup>. Há uma fina

tubulação que chega nesse tanque e dosa cloro no efluente através de bombas dosadoras de cloro, que estão ilustradas na Figura 10, localizadas na casa de química, operando num sistema totalmente automatizado. Na Figura 11 o primeiro tanque de contato está representado.

Figura 10 - Bombas dosadoras de cloro



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 11 - Tanque de contato 1



Fonte: Próprio autor (2017)

Após passar pelo tanque de contato, bombas impulsionam o fluido para o filtro de areia. Posteriormente, o efluente segue para o filtro de carvão. Ambos os filtros foram fabricados em outubro de 2014 pela Engetrate Ind. e Com. LTDA, são do modelo ENG. FCP 1200 e feitos de PRFV. Eles operam sob pressão de 2,5atm, apresentam vazão unitária de  $15\text{m}^3/\text{h}$  e estão representados na Figura 12.

O filtro de areia é composto de areia nº1, nº2 e nº3 e cascalho nº2 e nº3. Já o filtro de carvão é composto de areia nº2 e nº3, cascalho nº2 e nº3 e carvão ativado 6x10 mesh.

Figura 12 - Filtros de carvão (esquerda) e areia (direita)



Fonte: Próprio autor (2017)

Posteriormente, o fluido já tratado é armazenado em um segundo tanque de contato. Esse tanque é do mesmo fabricante dos demais e foi fabricado na mesma época, sendo seu modelo ENG-TC 2000. Seu diâmetro e sua altura são de 2m, possuindo assim uma capacidade de  $6\text{m}^3$ . Este segundo tanque encontra-se ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Tanque de contato 2



Fonte: Próprio autor (2017)

A água tratada é enviada para um lago localizado dentro do próprio empreendimento. Há uma casa de bombas próximo ao lago e esta trabalha, controlada pelo painel de controle, bombeando a água do lago para a tubulação de irrigação. Assim, toda a irrigação da extensa área verde do condomínio é feita com os efluentes tratados do empreendimento. A Figura 14 ilustra uma vista panorâmica do lago paisagístico localizado no centro do condomínio.

Figura 14 - Vista panorâmica do lago



Fonte: Site Mandara Kauai

### **3.3 Classificação do reuso**

Quanto às características da estação de tratamento do empreendimento, nota-se que os efluentes depois de tratados são encaminhados do seu ponto de descarga até o local do reuso, que é o lago e posteriormente a irrigação da área verde, sem anteriormente ser despejado em nenhum corpo d'água.

Importante ainda considerar também que o tratamento ocorre de maneira intencional e não é exigida a potabilidade para a água de reuso. Assim, o sistema do condomínio Mandara Kauai é classificado como sendo de reuso direto planejado não potável.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Qualidade da água

Visando garantir a qualidade da água oriunda do efluente tratado pela estação, o condomínio contrata uma empresa terceirizada que presta serviços técnicos voltados para o tratamento de água e efluentes. Esta empresa realiza análises na água com uma frequência de três dias na semana. Os resultados das análises são apresentados por meio de um laudo técnico e são necessários para que o condomínio se assegure que está atingindo as metas pelos órgãos ambientais e as exigências de saúde. Para complementar a análise da qualidade do efluente, foram realizadas análises no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN), localizado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, no bloco 713 do Campus do Pici em Fortaleza – Ceará. O compilado de todas as análises está representado na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros da estação e especificações de órgãos

	Estação	ABNT	USEPA	SABESP	SEMACE	ANA; FIESP; SINDUSCON
Cloro livre	1,85 mg/L	> 0,5mg/L	> 1mg/L	2 < Cl < 10mg/L	-	-
pH	7,3	-	6 < pH < 9	-	6 < pH < 8,5	6 < pH < 9
Temperatura	30,1°C	-	-	-	-	-
Sólidos totais	452 mg/L	-	-	-	-	-
Coliformes fecais	1 NMP/100mL	< 500 NMP/100mL	-	< 200 NMP/100mL	< 1000 NMP/100mL	< 200 NMP/100mL
Turbidez	2,7 UNT	< 5 UNT	< 2 UNT	< 20 UNT	-	< 5 UNT
Cor	30,9 UC	-	-	-	-	< 30 UC

Fonte: Laudos técnicos fornecidos pela empresa ACN; NBR 13969/97; USEPA (2004) adaptado de Alves (2009); SABESP (Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/uploads/file/ap\\_sabesp\\_div\\_grand\\_cons\\_leste.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/ap_sabesp_div_grand_cons_leste.pdf)>); Resolução COEMA N°02, de 02 de fevereiro de 2017 (Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/>>); ANA; FIESP; SINDUSCON (2005) – Conservação e Reuso da Água em Edificações – Reuso Classe 3

Com relação ao cloro livre, pode-se inferir que o sistema de tratamento está dentro do padrão para a ABNT e para a USEPA, pois a norma da ABNT requer que ele seja superior a 0,5 mg/L e a USEPA requer que seja superior 1mg/L. Assim, é garantido que o odor, lodo e crescimento bacteriano sejam reduzidos e até mesmo eliminados. Já para a SABESP, essa análise não está conforme, pois é exigido que ela esteja entre 2 e 10 mg/L e o valor obtido foi de 1,85mg/L.

O valor médio obtido para pH foi 7,3. Ao levar em consideração os padrões da ABNT e da USEPA, o pH do efluente final está dentro dos intervalos aceitos; portanto, está conforme.

No que concerne a temperatura, não há parâmetros na recomendação de nenhum dos órgãos considerados. Entretanto, visto que a temperatura ambiente do município onde o empreendimento está localizado é próxima ao valor medido, conclui-se que é admissível o uso dessa água para irrigação.

Levando em consideração os sólidos totais, obteve-se o valor de 452mg/L. Nenhum dos órgãos menciona esse parâmetro; entretanto, a USEPA, ao discorrer sobre água de reuso utilizada para irrigação de culturas, menciona que sólidos totais com concentração menores que 500mg/L não causam efeitos prejudiciais. Assim, considera-se que a água é adequada para irrigação paisagística.

O valor obtido na análise de coliformes fecais foi de 1NMP em 100mL de amostra, um valor bem abaixo dos especificados na ABNT, SABESP e SEMACE, indicando a eficiência do sistema de acordo com essas instituições. Considerando o sugerido pela USEPA, entretanto, que é não apresentar coliformes fecais detectáveis, o tratamento não seria eficiente.

Com relação a turbidez, o sistema atende às especificações da ABNT e da SABESP, mas de acordo com a USEPA o uso do efluente não seria adequado de acordo com esse parâmetro. A USEPA também acrescenta que a turbidez não deve exceder 5 UNT em nenhum momento, o que a amostra analisada respeita.

O valor obtido para cor da amostra foi de 30,9 UNC e o Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações é o único que menciona esse parâmetro, limitando o seu resultado aceitável a 30 UNC. Infere-se, portanto, que o sistema está próximo da conformidade com relação a esse parâmetro, mas ainda não atingiu o valor esperado.

#### **4.2 Análise técnica da ETE**

Apresentam-se nessa seção oportunidades de melhorias técnicas para o sistema de tratamento de efluentes em questão, visando melhor aproveitamento dos equipamentos e, conseqüentemente, maior produtividade.

#### ***4.2.1 ETE compacta horizontal***

A utilização da ETE modular foi uma escolha correta visto que é compacta e ideal para empreendimentos de tamanho não tão expressivo e que, portanto, produzem baixo volume de efluente bruto, que é o caso do condomínio.

O Condomínio Mandara Kauai apresenta sazonalidade na produção de efluentes, visto que há uma maior ocupação das residências em finais de semana e feriados. Assim, há mudanças nas taxas de fluxo e os equipamentos utilizados na ETE devem ser capazes de suportar essa característica. A opção de tanques horizontais para a construção das duas ETEs modulares foi, portanto, bastante adequada, pois estes apresentam menor susceptibilidade a ruptura causada por mudanças nas taxas de fluxo do que os verticais. Além disso, o design dos tanques horizontais é mais simplificado, os custos são menores e há maior facilidade de operação e manutenção.

#### ***4.2.2 Biofiltro aerado submerso***

Como citado previamente, o BAS utiliza como material suporte aparas de eletroduto corrugado de 20mm. Esse material, entretanto, não é o mais adequado por possuir área superficial reduzida. O uso deste suporte pode estar refletindo negativamente na quantidade de sólidos suspensos presentes e, conseqüentemente, na turbidez da amostra, que não obedece aos padrões estabelecidos pela USEPA.

Uma alternativa, portanto, seria utilizar anéis Pall, que possuem um alto índice de vazios e alta área superficial. Esse material propiciaria uma maior área de biofilme e melhor distribuição da alimentação bem como uma menor velocidade ascensional, reduzindo o arraste de lodo.

#### ***4.2.3 Tanque de contato 1***

Como mencionado anteriormente, o primeiro tanque de contato, que recebe o efluente da ETE compacta, tem capacidade de 3m<sup>3</sup>. Posteriormente, o efluente segue para os filtros de areia e carvão e em seguida é enviado para outro tanque de contato, este com capacidade de 6m<sup>3</sup>.

Percebe-se, portanto que o primeiro tanque de contato, com apenas 3m<sup>3</sup> de capacidade, constitui um gargalo para o tratamento do efluente, já que a produção de efluente tratado por hora fica limitada à capacidade desse tanque.

Visando contornar esse gargalo técnico, propõe-se substituir esse tanque por um de capacidade maior ou construir um tanque adicional. Substituir o tanque, entretanto, não seria viável economicamente, visto que seria necessário descartar o existente e arcar com o dimensionamento e construção de um novo. Assim, a construção de um tanque adicional de 3m<sup>3</sup> aumentaria da mesma forma a capacidade da ETE e desta maneira não haveria desperdício de capital já investido.

#### 4.2.4 Filtros de areia e terra

Como mencionado, o pós-tratamento do efluente no condomínio Mandara Kauai é feito com a utilização de um filtro de areia e um filtro de carvão. De acordo com a Tabela 5, é possível inferir que, sem esse pós-tratamento, alguns parâmetros do efluente não atingiriam o recomendado pelos órgãos já mencionados.

Tabela 5 – Parâmetros antes e depois dos filtros

	Unidade	Antes do filtro	Depois do filtro
Sólidos totais (mg/L)	mg/L	522	452
Condutividade	µS/cm	708	700
Cor	uC	34,1	30,9
Turbidez	NTU	5,6	2,7
Coliformes fecais	NMP	40,8	1,0

Fonte: Análises realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN)

A concentração de sólidos no efluente antes do pós-tratamento com os filtros, por exemplo, era de 522 mg/L. Para uma concentração entre 500 e 2000 mg/L de sólidos totais dissolvidos, a USEPA já considera que essa água de irrigação pode afetar plantas sensíveis. Assim, os filtros de areia e carvão foram essenciais para que esse parâmetro fosse enquadrado e acordo com essa norma e para que não trouxesse danos à área verde irrigada do empreendimento.

Com relação à cor, os filtros foram responsáveis pela uma leve diminuição na intensidade desse parâmetro, o que foi determinante para que o sistema ficasse mais próximo do limite máximo estabelecido pelo Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações.

Considerando a turbidez, se não houvesse o pós-tratamento com os filtros, a qualidade da água estava comprometida com relação a esse parâmetro em quase todos os órgãos; com exceção SABESP, onde o valor necessita apenas ser menor que 20 UT.

Finalmente, com relação aos coliformes fecais, o sistema anterior aos filtros já foi bem eficiente, apresentando conformidade com todas as normas e legislações apresentadas. O pós-tratamento, entretanto, refinou bastante o tratamento total, diminuindo a quantidade de coliformes fecais para 1NMP, isto é, deixando o efluente com coliformes quase não detectáveis por meio de análises laboratoriais.

Visando analisar com mais precisão o valor obtido para os sólidos totais na amostra do efluente, coletou-se 24 laudos técnicos fornecidos pela empresa ACN entre o período de 18 de abril e 13 de outubro de 2017. A média e o desvio padrão da propriedade em questão foi sintetizada na tabela 6.

Tabela 6 – Média e desvio padrão das análises de sólidos totais

Dados		
	Média	Desvio Padrão
Sólidos totais (mg/L)	496	58.86

Fonte: Laudos técnicos fornecidos pela empresa ACN

O desvio padrão obtido foi considerado alto e isso se dá por conta da periodicidade da retrolavagem dos filtros de areia e carvão. A lavagem necessária para os mesmos é de 3 em 3 dias. Portanto, quando o filtro foi recentemente lavado, ele retém mais sólidos e o efluente final tem uma concentração menor de sólidos totais. Entretanto, quando o filtro está próximo do limite de saturação, o efluente final sai com uma concentração maior de sólidos. Assim, a média acaba não sendo um valor representativo da real capacidade de retenção de sólidos, sendo percebida assim uma oportunidade de melhoria nos filtros, pois em muitas análises o valor de sólidos totais superou a concentração considerada não nociva pela USEPA.

## 5. CONCLUSÃO

O condomínio de apartamentos Mandara Kauai, por sua localização em um município de Aquiraz, sofre com a falta de abastecimento de água e de esgoto sanitário realizado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Portanto, para o funcionamento sustentável do empreendimento, uma ETE foi instalada na área do empreendimento na época da construção, que ocorreu no ano de 2015. Com pouco mais de 2 anos de funcionamento, a ETE já processou 208 mil m<sup>3</sup> de efluentes provenientes das 216 unidades residenciais para alimentação do lago paisagístico do empreendimento e irrigação da extensa área verde.

Com a visita realizada na Estação de Tratamento de Efluentes, foi possível avaliar aspectos técnicos e ambientais do sistema. Primeiramente, o sistema de tratamento utilizado não foi o convencional, e sim um sistema de ETE compacta que combina tratamento aeróbio com anaeróbio, promovendo uma remoção de matéria orgânica otimizada. Esse modelo se adequou muito bem com o empreendimento, que é caracterizado por baixo volume de efluente bruto e espaço físico reduzido para a construção da estação. Além disso, o formato escolhido para os tanques foi horizontal, o que também se adequou com o empreendimento; a sazonalidade característica do condomínio, que é mais frequentado em finais de semana e datas comemorativas, provoca mudanças nas taxas de fluxo e tanques horizontais são melhores para resistir a essas alterações.

Uma outra oportunidade de melhoria percebida na análise da estação foi a ideia de construir um tanque de contato adicional com a mesma capacidade do já existente para armazenamento do efluente antes dos pós-tratamento. Essa modificação do projeto melhoraria o desempenho do mesmo, pois o gargalo produzido pelo volume reduzido de 3m<sup>3</sup> do primeiro tanque de contato seria eliminado.

Outra melhoria técnica identificada foi a de substituir o material suporte do BAS, que atualmente é eletroduto corrugado de 20mm e apresenta área superficial baixa. Com a análise de alguns outros suportes, conclui-se que uma boa alternativa seria o uso de anéis Pall, que apresenta um alto elevado índice de vazios, baixo peso e área superficial elevada.

Com relação a aspectos ambientais de qualidade da água, percebe-se que os dados obtidos pela análise do efluente final estão dentro dos conformes de acordo com a ABNT, SABESP, USEPA e a última resolução baixada pela SEMACE. Essa conformidade em todos os parâmetros, entretanto, só foi alcançada com a utilização do pós-tratamento (filtros de areia e carvão), que enquadraram parâmetros como sólidos totais dissolvidos e turbidez.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se estudar a viabilidade de aproveitar o biogás produzido no UASB para geração de energia elétrica, reduzindo assim o consumo de energia elétrica da concessionária. Outra sugestão seria analisar a granulometria do filtro de areia e estudar a possibilidade de melhorar a configuração e distribuição do leito, visando obter uma filtração mais eficiente e diminuir a turbidez e concentração de sólidos no efluente final.

## REFERÊNCIAS

A importância dos rios para as primeiras civilizações. Disponível em: <<http://www.europa.com.br/a-importancia-dos-rios-para-as-primeiras-civilizacoes/>> Acesso em: 29 de setembro de 2017.

Água: recurso natural esgotável. Disponível em:<<https://novaescola.org.br/conteudo/1142/a-agua-e-um-recurso-natural-esgotavel>> Acesso em: 29 de setembro de 2017.

ALEM SOBRINHO, P.; JORDÃO, E. P. (2001). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – uma análise crítica.** In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Carlos Augusto Lemos Chernicharo (coordenador). Belo Horizonte, PROSAB/FINEP, p. 491-513.

ALVES, Rita D.V.A. **Comparação de diferentes sistemas de tratamento biológico de águas residuárias domésticas na produção de efluentes para reuso agrícola.** Dissertação – Universidade Estadual da Paraíba, 2009.

ANA; FIESP; SINDUSCON. **Manual de conservação e reuso de água em edificações.** São Paulo, 2005.

Aspectos legais para a água de reuso. Disponível em: <<http://www.ibemas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VIII-005.pdf>>. Acesso em 16 de outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro. 1997. Disponível em: <[https://acqasana.com.br/legislacao/nbr\\_13969.pdf](https://acqasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf)>. Acesso em 20 de outubro de 2017.

BARBOSA, Julmar Nunes. **Estudo da aplicação de estações de tratamento de esgoto compactas em pequenos municípios de Minas Gerais.** Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

BASTOS, Maurília de Almeida. **Avaliação da eficiência de ETE compacta e sua influência no Ribeirão Capivari em Ingleses, Florianópolis/SC.** Dissertação – Universidade do Vale do Itajaí, 2012.

Bons exemplos de outros países de gestão de água. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/bons-exemplos-de-outros-paises-de-gestao-de-agua>>. Acesso em: 2 de outubro de 2017.

---

BRASIL. Resolução COEMA N°02, de 02 de fevereiro de 2017. **Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias Semace N°154, de 22 de julho de 2002 e N° 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria Semace N° 151, de 25 de novembro de 2002.** Órgão emissor: SEMACE –

Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/>>. Acesso em 20 de outubro de 2017.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. São Paulo: RIMA, 2005.

Funcionamento de uma estação de tratamento de efluentes. <<http://www.revistatae.com.br/5801-noticias/>>. Acesso em 12 de outubro de 2017.

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

Importância da água. Disponível em: <[http://www.fagar.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=52&Itemid=76](http://www.fagar.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=76)>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.

Mandara Porto das Dunas. Disponível em: <<http://www.destinomandara.com.br/kauai/>>. Acesso em 19 de outubro de 2017.

Mapa mostra escassez de água pelo mundo. Disponível em: <[http://www.bbc.com/portuguese/reporterbbc/story/2006/08/060821\\_faltaaguarelatoriofn.shtml](http://www.bbc.com/portuguese/reporterbbc/story/2006/08/060821_faltaaguarelatoriofn.shtml)> Acesso em: 29 de setembro de 2017.

NKWONTA, Onyeka. **A comparison of horizontal roughing filters and vertical roughing filters in wastewater treatment using gravel as a filter media**. International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(8), pp. 1240-1247.

Padrões para reuso de águas residuárias em ambientes urbanos. Disponível em: <<http://cbhpf.upf.br/phocadownload/2seminario/padroesreusoaguaii.pdf>>. Acesso em 16 de outubro de 2017.

PORTARIA MINISTÉRIO DA SAÚDE 518, DE 25/03/2004. Disponível em: <[http://www.aeap.org.br/doc/portaria\\_518\\_de\\_25\\_de\\_marco\\_2004.pdf](http://www.aeap.org.br/doc/portaria_518_de_25_de_marco_2004.pdf)>. Acesso em 21 de outubro de 2017.

Reúso da água<[http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=2151](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=2151)>.Acesso em: 2 de outubro de 2017.

SABESP. Disponível em <[http://site.sabesp.com.br/uploads/file/ap\\_sabesp\\_div\\_grand\\_cons\\_leste.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/ap_sabesp_div_grand_cons_leste.pdf)>. Acesso em 20 de outubro de 2017.

Seis tecnologias para tratamento de água e efluentes. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/6-tecnologias-tratamento-de-agua-efluentes/>>. Acesso em 12 de outubro de 2017.

SILVA, S. M. C. P. (1993). **Desenvolvimento de uma nova concepção de tratamento de águas residuárias pela associação de processos anaeróbios e aeróbios.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUSA, Andrea F.S. **Diretrizes para implantação de Sistema de reuso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – Análise de perigos e pontos críticos de controle - Estudo de caso Residencial Valville I.** Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

U.S. Environmental Protection Agency. 2004. Manual – Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108. Washington, DC.

VERONEZ, F. A **Desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados submersos, 2001.** 151 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.