



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia



MARIANA SIMOLINI ZÓIA

**Análise comparativa de aspectos
econômicos de ETE's compactas e sistemas
convencionais**

Limeira
2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia



MARIANA SIMOLINI ZÓIA

Análise comparativa de aspectos econômicos de ETE's compactas e sistemas convencionais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental à
Faculdade de Tecnologia da Universidade
Estadual de Campinas

Orientador: Prof. Dr. Dagoberto Yukio Okada

Limeira
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu irmão, por me garantir a força necessária para superar todas as dificuldades, me auxiliar na escolha dos melhores caminhos e, principalmente, por estar sempre ao meu lado.

A toda minha família, amigos e namorado que apoiaram minhas decisões, me incentivaram todos os dias e tiveram paciência nesse período.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dagoberto Yukio Okada por compartilhar sua experiência e conhecimentos, além do incentivo, compreensão, dedicação. Muito obrigada!

A todos que fizeram parte dessa etapa da minha vida, direta ou indiretamente.

Meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Atualmente, a maior parte da população brasileira não é atendida por serviços adequados de coleta e tratamento de esgoto. A falta desses serviços implica em uma série de problemas a sociedade, como por exemplo, a maior incidência de doenças de veiculação hídrica, maiores taxas de mortalidade infantil, inviabilização de mananciais, entre outros. Em regiões densamente povoadas, adota-se o sistema centralizador, no qual uma rede coletora recebe e transporta o esgoto até uma estação de tratamento de esgoto (ETE). Em um sistema de coleta e tratamento de esgotos, a rede coletora chega a representar um gasto maior que o próprio tratamento devido à sua complexidade e extensão. Em regiões com a população mais dispersa, os custos da rede coletora tornam inviável o sistema centralizador. Nessas regiões é implantado o sistema descentralizado, com o uso de soluções de tratamento individuais ou de pequenas comunidades instaladas bem próximos ao local gerador de esgotos. Visando atender regiões com esse perfil, uma solução que tem se destacado são as ETEs compactas, sendo inclusive objeto de solicitação nos últimos editais publicados pela SABESP. Devido à importância que tem se dado à essa solução de tratamento de esgotos, o objetivo deste trabalho foi comparar as características técnico-financeiras da alternativa de ETE compacta com as convencionais. O sistema de ETE compacta analisado é a composta por reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) seguido por filtro aerado submerso (FAS), enquanto que as soluções convencionais estudadas foram: reator UASB; UASB + Lodos ativados; UASB + lagoa aerada facultativa; UASB + lagoa facultativa; Lodos ativados convencional. Foram comparados o custo de implantação, área requerida, potência instalada e volume de lodo gerado das alternativas de ETE. Para realizar essa comparação, foram levantados dados na bibliografia técnica e nos editais da SABESP, com a correção dos custos pelo Índice Nacional de Custo de Construção (INCC). O sistema compacto apresenta parâmetros muito próximos ao sistema convencional viabilizando a implantação desses sistemas em diversos locais, se tornando mais uma opção de solução para a universalização do saneamento no Brasil.

Palavras-chave: ETE compacta; Saneamento básico; UASB; Filtro aerado submerso; Custo de implantação.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVO	11
2.1. OBJETIVO GERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. SANEAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO	12
3.2. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	14
3.4. REATOR UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	20
3.5. FILTRO AERADO SUBMERSO (FAS).....	21
3.7. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTO	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
6. CONCLUSÃO.....	38
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Índice geral do Brasil.....	12
FIGURA 2 - Distribuição de tecnologia de tratamento na AL de acordo com o seu tipo.....	12
FIGURA 3 - Percentagem de cada tecnologia utilizada em cada país da AL.....	16
FIGURA 4 - Desenho esquemático de um reator UASB.....	20
FIGURA 5 - Desenho esquemático de um reator FAS compacto.....	21
FIGURA 6 - Custo de implantação de ETEs com tratamento UASB e Pós-Tratamento.....	28
FIGURA 7 - Custo de implantação de ETE's licitadas pela SABESP.....	30
FIGURA 8 - Comparação de área requerida para os sistemas analisados.....	33
FIGURA 9 - Comparação de potência instalada dos sistemas analisados.....	33
FIGURA 10 - Comparação de consumo de energia para aeração dos sistemas analisados.....	34
FIGURA 11 - Comparação do volume de lodo a tratar dos sistemas analisados.....	34
FIGURA 12 - Comparação de custo de implantação dos sistemas analisados.....	35
FIGURA 13 - Comparação de eficiência de remoção de DBO dos sistemas analisados.....	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Padrão de lançamento de DBO no estado de São Paulo.....	12
TABELA 2 - Índice de atendimento em cada Estado.....	13
TABELA 3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento de esgoto mais usuais no Brasil.....	17
TABELA 4 - Custos de implantação de Sistema UASB + Pós-tratamento.....	26
TABELA 5 – ETEs Compactas licitada pela SABESP.....	29
TABELA 6 - Características típicas de sistemas de tratamento de esgoto, expressas conforme valor per capita.....	32
TABELA 7 - Comparação de eficiência de remoção de Nitrogênio dos sistemas analisados.....	37

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	América Latina
ANA	Agência Nacional de Águas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda química de oxigênio
DQO	Demanda bioquímica de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FAS	Filtro aerado submerso
INCC	Índice Nacional de Custo de Construção
N	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
TDH	Tempo de detenção hidráulico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanked ou reator anaeróbio de manta de lodo
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é indispensável para o desenvolvimento da população, das cidades, indústrias e conseqüentemente do país. No Brasil o saneamento é um direito assegurado pela Constituição Federal 1988 e pela Lei nº 11.445/2007.

A Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), Lei Nº 6.938/81, define poluição como “degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente que prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; comprometam as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente ou lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Os instrumentos da PNMA são especificados no artigo 9º da Lei 6.938/81, estes são mecanismos utilizados para que os objetivos da política nacional sejam alcançados e foram estabelecidos por meio de Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Considerando que o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, e levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água foram elaboradas resoluções e entre elas a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 que determina a classificação dos corpos de água, bem como os padrões de lançamento de efluentes. A CONAMA 357/05 sofreu algumas alterações, sendo elas a nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº410, de 2009 e, a mais significativa para este estudo, nº 430, de 2011 que altera alguns parâmetros das condições e padrões de lançamento de efluentes, definidos na Resolução de 2005.

Apesar de leis, resoluções e decretos são necessários agências e órgãos fiscalizadores para monitorar, avaliar e fiscalizar o avanço do desenvolvimento do saneamento no Brasil. A Agência Nacional de Águas (ANA) e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental elaboraram o relatório Atlas Esgotos que aborda o atual cenário do esgotamento sanitário no Brasil e propõem ações e estratégia para investimento no setor com o horizonte de 2035.

De acordo com a Atlas Esgoto (2019) apenas 43,45% da população possui coleta e tratamento de esgoto e 12,03% utilizam sistema individual (fossa séptica), com isso temos um total de 55,48% da população com tratamento adequado de esgoto. Dos 44,52% restantes, 18,2% têm coleta de esgoto e não tratamento de esgoto, sendo considerado como atendimento precário; e os outros 26,33% não possuem coleta nem tratamento de esgoto, ou seja, não possuem nenhum serviço de coleta sanitária. Além do Brasil existem outros países que estão

em carência de sistema de saneamento entre outras necessidades, e dado esse contexto a Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou a Agenda 2030 que é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade que apresenta os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas para todos os países que decidirem aderir e que devem ser cumpridos até o ano de 2030. O 6º ODS consiste em assegurar a disponibilidade e gestão sustentável de água e saneamento para todos.

Sendo assim, há muito que deve ser realizado para a universalização do esgotamento sanitário no Brasil e uma dessas etapas é a construção de novos sistemas de tratamento de esgoto. As novas estações de tratamento de esgoto (ETE) podem ser construídas com a concepção de sistemas centralizados ou descentralizados. Para implantação do sistema centralizado, além da ETE, é necessário a construção de uma rede coletora muito extensa, apresentando duas principais problemáticas. A primeira é seu custo de implantação que, na maioria das vezes, acaba sendo maior que o da própria ETE. A segunda problemática é a complexidade de execução desse tipo de obra em algumas localidades, onerando e estendendo o período de execução. O sistema descentralizado atende a demanda de tratamento individual (residência), bairro e ou pequenas comunidades, é construído próximo ao local de geração de esgoto, não sendo necessária a construção de uma rede coletora extensa. Destaca-se para esses locais a implantação de ETEs compactas.

Nos últimos editais publicados pela SABESP para aquisição de ETE de pequenas comunidades, foi solicitado a implantação de sistemas compactos e tratamento composto por reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) seguido de filtro aerado submerso (FAS). Devido o interesse de aquisição desse modelo de tratamento, verifica-se a necessidade de uma melhor avaliação do desempenho econômico das ETEs compactas.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise técnico-financeira da alternativa de estação de tratamento de esgoto (ETE) compacta composta por reator UASB (upflow anaerobic sludge blanket – reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente) e FAS (filtro aeróbio submerso), comparando seus custos de instalação com ETEs convencionais.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para realizar a comparação entre as alternativas de ETEs serão analisados os seguintes aspectos:

- Área requerida;
- Custo de implantação;
- População atendida;
- Potência instalada;
- Volume de lodo gerado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SANEAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO

As legislações vigentes do estado de São Paulo são a Resolução CONAMA nº 430/11, artigo 21 e o Decreto 8.468/76, artigo 18 os quais apresentam os padrões de lançamento do esgoto sanitário, destacando o padrão de emissão Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Tabela 1.

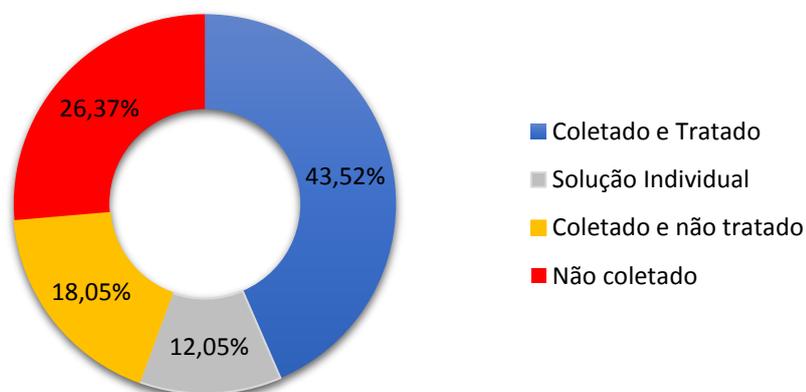
TABELA 1 – Padrão de lançamento de DBO no estado de São Paulo.

Parâmetros	Resolução Conama 430/11 (Art. 21)	Decreto 8.468/76 (Art.18)
DBO (mg/L)	Máximo 120 mg/L ou mínimo de 60 % de eficiência	Máximo 60 mg/L ou mínimo de 80% de eficiência

Fonte: Adaptado Decreto 8.468/76 (1976) e Resolução CONAMA 430/11 (2011).

O estado de São Paulo é o estado que apresenta os melhores índices de saneamento do Brasil, após o Distrito Federal, sendo que 64,45% da população possuem coleta e sistema de tratamento de esgoto, 3,77% utilizam sistema individual (fossa séptica), 22,62% têm apenas a coleta e 9,15% não possuem nem coleta e nem tratamento de esgoto. Na Tabela 2 são apresentados os índices de atendimento em cada estado e na Figura 1 é demonstrado o índice de atendimento geral do Brasil

FIGURA 1 - Índice geral do Brasil.



Fonte: Atlas Esgoto (2019).

TABELA 2 - Índice de atendimento em cada Estado.

Estado	Coletado e Tratado	Solução Individual	Coletado e Não Tratado	Não Coletado e Não Tratado	Número de Municípios	População Urbana
Acre	33,47	12,9	1,98	51,65	22	562.843
Alagoas	16,55	12,29	9,19	61,97	102	2.437.832
Amazona	18,79	19,83	3,66	57,73	62	3.014.220
Amapá	6,69	16,86	0,61	75,94	16	658.840
Bahia	50,85	5,63	12,3	31,21	417	10.880.101
Ceará	39,76	30,49	3,98	25,77	184	6.603.150
Distrito Federal	83,08	8,34	-	8,57	1	2.694.296
Espirito Santo	41,02	4,53	19,52	34,94	78	3.209.162
Goiás	47,85	13,08	2,53	36,55	246	5.817.885
Maranhão	3,92	22,22	13	60,86	217	4.290.065
Minas Gerais	43,73	2,47	42,25	11,56	853	17.592.969
Mato Grosso do Sul	42,19	15,26	0,8	41,76	79	2.215.953
Mato Grosso	22,48	20,9	2,11	54,5	141	2.604.062
Pará	4,06	25,29	4,98	65,66	144	5.459.309
Paraíba	42,63	6,9	16,2	34,27	223	2.958.129
Pernambuco	26,97	11,31	17,6	44,12	185	7.385.329
Piauí	10,11	28,39	2,34	59,16	224	2.096.856
Paraná	64,05	11,3	1,11	23,54	399	9.402.234
Rio de Janeiro	42,25	8,82	30,55	18,37	92	15.826.680
Rio Grande do Norte	24,53	22,12	6,07	47,28	167	2.630.467
Rondônia	3,61	19,7	5,15	71,55	52	1.277.299
Roraima	14,7	33,51	3,82	47,97	15	374.084
Rio Grande do Sul	26,24	24,02	28,17	21,56	497	9.512.434
Santa Catarina	24,26	47,27	8,69	19,78	295	5.594.950
Sergipe	21,64	11,43	10,73	56,21	75	1.619.457
São Paulo	64,45	3,77	22,62	9,15	645	41.892.786
Tocantins	28,97	15,66	1,31	54,06	139	1.169.213

Fonte: Atlas Esgoto (2019.)

Mesmo apresentando um dos melhores índices de coleta e tratamento de esgoto o estado de São Paulo está investindo constantemente em projetos e obras de saneamento. Atualmente uma das prioridades do Governo do Estado de São Paulo é o Projeto Novo Rio Pinheiros, que prevê a revitalização do Rio Pinheiros através de intervenções nas áreas de

todas as sub-bacias de seus afluentes até o ano de 2022, onde vivem cerca de 3,3 milhões de pessoas. Uma das etapas do projeto Novo Pinheiros foi à realização de um mapeamento completo de toda sua área que identificou que cerca de 500 mil imóveis precisam encaminhar seu esgoto à estação de tratamento de esgoto, sendo que 73 mil ainda precisam ser conectados às redes de coleta. Para isso a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) lançará alguns editais para que empresas realizem diversas intervenções, dentre elas, a implantação de sistemas compactos de tratamento de esgoto em áreas que não possuem espaço para a instalação de infraestrutura de coleta de esgoto.

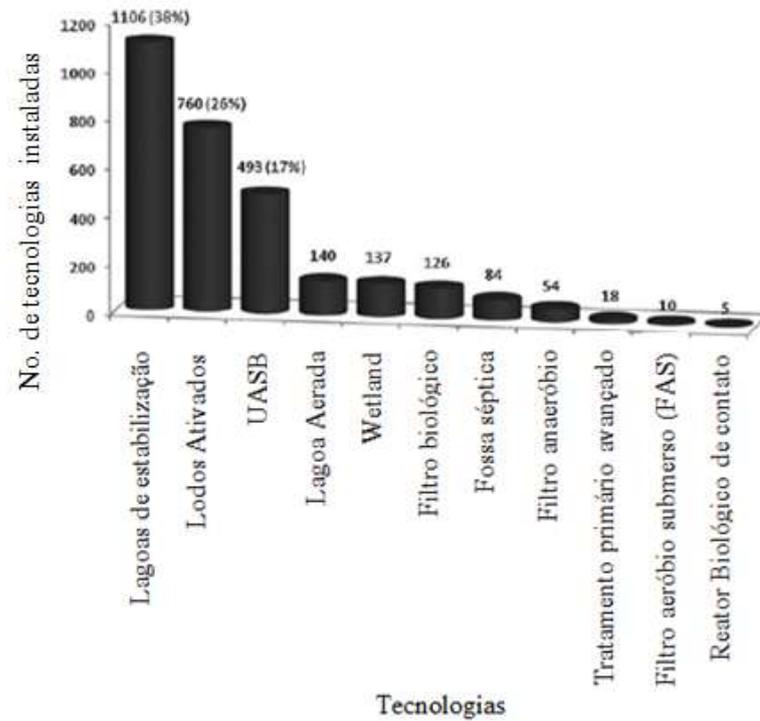
Para se realizar o tratamento do esgoto, deve-se projetar uma estação capaz de atender toda e qualquer legislação vigente na região atendida pela instalação e, para isso, pode-se escolher dentre uma variedade de sistemas diferentes.

3.2. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Existem diversos tipos de sistemas de tratamento de esgoto que são utilizados e combinados para atender as diferentes necessidades de nível de tratamento, topografia, clima, área para implantação, entre outros. Noyola et al. (2012) apresentou em seu artigo as tecnologias mais utilizadas no tratamento de esgoto na América Latina (AL), (Figura 2) e a distribuição percentual do número de tecnologias de tratamento em cada país da AL (Figura 3).

Na Figura 2 Noyola et al (2012) comparou os tipos de tratamentos mais usuais da AL com a quantidade instalada e a porcentagem que ela representa em relação a todos os sistemas instalados.

FIGURA 2 - Distribuição de tecnologia de tratamento na AL de acordo com o seu tipo.

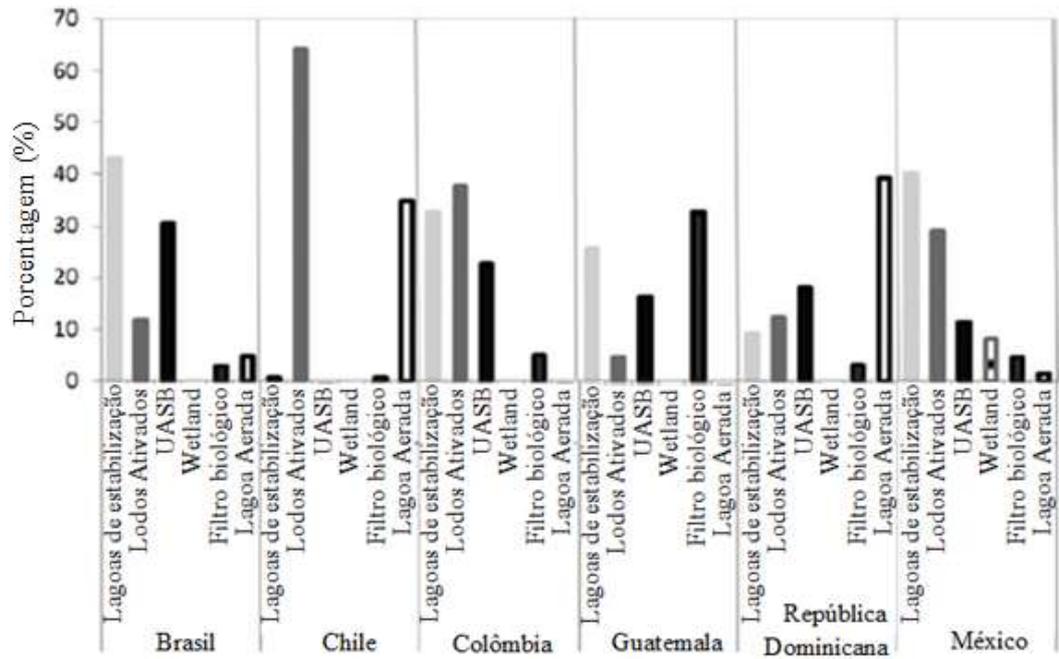


Fonte: Noyola et al. (2012).

Pode-se observar que o sistema de lagoas de estabilização, lodos ativados e UASB somam 81% das unidades instaladas na AL.

Na Figura 3, são apresentados o percentual do número de tecnologia em cada país.

FIGURA 3 - Percentagem de cada tecnologia utilizada em cada país da AL.



Fonte: Noyola et al. (2012).

Pode-se observar que no Brasil as tecnologias mais utilizadas são, em ordem decrescente de percentagem, lagoa de estabilização, UASB, lodos ativados, lagoas de aeração, filtro biológico, wetlands. A Tabela 3 apresenta algumas vantagens e desvantagens dessas tecnologias conforme Noyola et al. (2012).

TABELA 3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento de esgoto mais usuais no Brasil.

Tipo de sistemas	Vantagens	Desvantagens
Fossa séptica + Filtro Anaeróbio	<ul style="list-style-type: none"> - Baixos requisitos de área; - Baixos custos de implantação e operação; - Reduzido consumo de energia; - Construção, operação e manutenção simples; - Baixíssima produção de lodo; - Estabilização do lodo no próprio reator; - Boa desidratabilidade do lodo; - Rápido reinício após período de paralisação; - Boa resistência à variação de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivo; - Possibilidade de efluentes com aspecto desagradável; - Remoção de Nitrogênio e Fósforo insatisfatória; - Possibilidade de maus odores (embora possa ser controlados); - Riscos de entupimento.
UASB	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfatória eficiência na remoção de DBO; - Baixos requisitos de área; - Baixos custos de implantação e operação; - Reduzido consumo de energia; - Não necessita de meio suporte - Construção, operação e manutenção simples; - Baixíssima produção de lodo; - Estabilização do lodo no próprio reator; - Boa desidratabilidade do lodo; - Necessidade apenas de secagem e disposição final do lodo; - Rápido reinício após período de paralisação; 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivo; - Possibilidade de efluentes com aspecto desagradável; - Remoção de Nitrogênio e Fósforo insatisfatória; - A partida do processo é geralmente lenta; - Relativamente sensível a variações de carga; - Usualmente necessita pós-tratamento
Filtro Aerado Submerso (FAS)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiência na remoção de DBO; - Não existe a necessidade de recirculação do lodo; - Reduzidas possibilidades de maus odores; - Mais simples conceitualmente do que lodos ativados; 	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de grande quantidade de lodo - Elevado consumo de energia elétrica - Necessidade do tratamento do lodo para sua disposição final.
Filtro Biológico	<ul style="list-style-type: none"> - Boa eficiência na remoção de DBO; - Nitrificação do efluente (dependendo da taxa de aplicação do efluente); - Índice de mecanização relativamente simples. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevados custos de implantação; - Menos flexibilidade operacional que lodos ativados; - Relativa dependência da temperatura do ar; - Elevada perda de carga.

TABELA 3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento de esgoto mais usuais no Brasil (cont.).

Tipo de sistemas	Vantagens	Desvantagens
Lagoa Facultativa aeróbia	<ul style="list-style-type: none"> - Construção, operação e manutenção relativamente simples; - Maior independência das condições climáticas que os sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas; - Eficiência na remoção de DBO ligeiramente superior à das lagoas facultativas; - Satisfatória resistência a variações de carga; - Reduzidas possibilidades de maus odores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução de equipamentos de aeração; - Ligeiro aumento no nível de sofisticação; - Requisitos de área ainda elevados; - Requisitos de energia relativamente elevados.
Lagoa de anaeróbia + Lagoa Facultativa	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfatória eficiência na remoção de DBO; - Construção, operação e manutenção simples; - Requisitos energéticos praticamente nulos; - Satisfatória resistência a variações de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevados requisitos de área; - A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento de vegetação); - Possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbica; - Necessidade de um afastamento razoável às residências circunvizinhas.
Wetland	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiência na remoção de DBO e de coliformes; - Boa resistência a variação de cargas; - Satisfatória eficiência na remoção de Nitrogênio e Fósforo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado requisito de área; - Possibilidade de contaminação de vegetais a serem consumidos, caso seja aplicado indiscriminadamente; - A aplicação deve ser suspensa ou reduzida nos períodos chuvosos.
Lodos Ativados Convencional	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiência na remoção de DBO; - Nitrificação usualmente obtida; - Possibilidade de remoção biológica de Nitrogênio e Fósforo; - Baixos requisitos de área; - Processo confiável, desde que supervisionado; - Reduzidas possibilidades de maus odores, insetos e vermes; - Flexibilidade operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevados custos de implantação e operação; - Elevado consumo de energia; - Necessidade de operação sofisticada; - Elevado índice de mecanização; - Relativamente sensível a descargas tóxicas; - Necessidade de tratamento completo do lodo e da sua disposição; - Possíveis problemas ambientais com ruídos e aerossóis.

Pode-se verificar que todas as tecnologias de sistema de tratamento de esgoto apresentam certas vantagens e desvantagens em suas aplicações. Algumas são baseadas em processos aeróbios como Filtro aerado submerso (FAS), Filtro biológico, Lagoa facultativa aeróbia, lodos ativados convencionais, apresentando como características gerais a alta geração

de lodo, presença de oxigênio, alta eficiência na remoção de matéria orgânica. Outras tecnologias são baseadas em processos anaeróbios como Fossa séptica + Filtro Anaeróbio, UASB, que apresentam como características gerais o baixo consumo de energia, baixa geração de lodo, ausência de oxigênio. Outros sistemas fazem a combinação de processo anaeróbio e aeróbio como Lagoa de anaeróbia + Lagoa Facultativa e Wetlands, apresentando características mistas de dois processos (anaeróbio e aeróbio).

Na busca de alcançar o melhor custo-benefício de implantação e operação dos sistemas de tratamento de esgotos, pesquisadores, engenheiros, empresas começaram estudar a combinação desses tipos de tratamento. Hassel et al. (2009) estudaram as diferentes associações de sistemas anaeróbios e aeróbios e constataram diversas vantagens como: grande potencial de recuperação de recursos, menor produção de lodo no sistema, baixo consumo de energia, requisitos mínimos de espaço, eficiências satisfatórias na remoção de DQO (acima de 83%).

Uma das combinações mais usuais de sistema de tratamento de esgoto tem sido a combinação entre o processo anaeróbio seguido de processo aeróbio, uma vez que o sistema anaeróbio apresenta facilidade operacional e baixa produção de lodo e o sistema aeróbio proporciona alta remoção de matéria orgânica, remanescente do sistema anaeróbio e com isso se reduz o custo com sistema de aeração.

Domingues (2005 *apud* Chernicharo et al. (2001) num amplo estudo sobre o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios no Brasil destacam vários sistemas empregados com sucesso: unidades de infiltração no solo, lagoas de estabilização, unidades de filtração, reatores com biofilme, lodos ativados e unidades de flotação. Inclusive, é comum a combinação UASB + processos aeróbios para aumentar a eficiência do sistema de tratamento e reduzir os custos de implantação, operação e área. São combinações usuais o UASB com FAS, lodos ativados e lagoas facultativa. Além das economias operacionais, o custo da implantação de uma estação de tratamento de esgoto que possui o sistema UASB seguido de sistema aeróbio chega a ser 20% menor do que um sistema de tratamento convencional (Von Sperling, 2005)

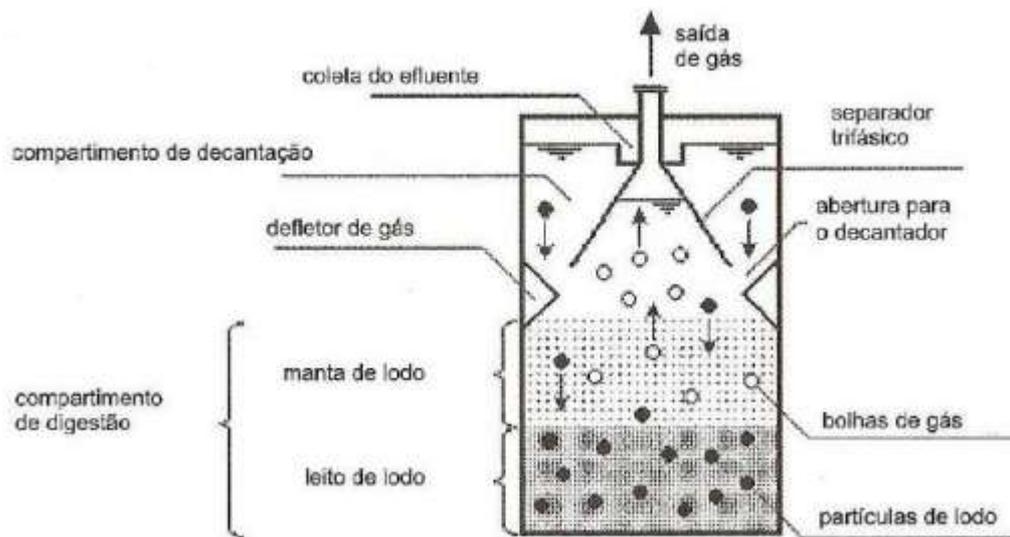
A SABESP, em seus últimos editais de estação de tratamento de esgoto compacta tem solicitado o sistema de combinado (anaeróbio/aeróbio) que deve ser composto por reator anaeróbio tipo UASB e pós-tratamento com o reator aeróbio tipo filtro aeróbio submerso. Com isso, serão analisadas as características de tratamento e econômica desta configuração.

3.4. REATOR UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Segundo Jordão e Pessôa (2014), no final da década de 70, o Prof. Gatzke Lettinga e sua equipe desenvolveram um reator anaeróbio, com a entrada do esgoto em fluxo ascendente com manta de lodo, na Universidade de Wageningen situada na Holanda. Esse reator foi denominado Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) sendo essa terminologia adotada pelos especialistas brasileiros.

Inicialmente o reator UASB era aplicado para casos com altas concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Esta tecnologia só começou a ser empregada para tratamento de esgoto doméstico na metade da década de 1990.

FIGURA 4 - Desenho esquemático de um reator UASB



Fonte: Chernicharo (2007).

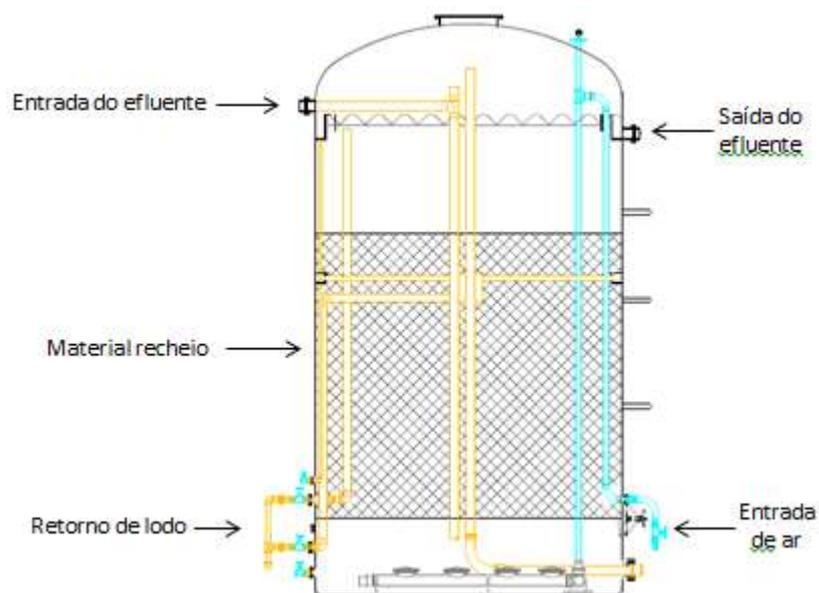
Por ser um equipamento simples e econômico, os países em desenvolvimento como Brasil, Colômbia, México, Índia, além da Holanda (onde o equipamento foi desenvolvido), tem investido no estudo e aprimoramento dessa tecnologia (Jordão e Pessôa, 2014).

3.5. FILTRO AERADO SUBMERSO (FAS)

Segundo Jordão e Pessôa (2014) o processo de Filtração Biológica foi utilizado pela primeira vez em 1897, na Inglaterra, em Lancshire na ETE Salford e no Brasil a primeira ETE construída com sistema de tratamento secundário de Filtro Biológico foi a ETE Paquetá no Rio de Janeiro em 1910.

Atualmente existem diversos modelos de unidades aeróbias de filtração biológica, como filtro biológico convencional, filtro rotativos de contato, entre outras variações. O filtro aeróbio submerso utiliza o meio suporte de fixação dos microrganismos. O fornecimento de oxigênio ocorre através de ar introduzido por meio de equipamentos, reduzindo o volume do reator biológico e eliminando a necessidade de recirculação do lodo. Para que o reator seja classificado como filtro aerado submerso (FAS) devem ser seguidos parâmetros de dimensionamentos da Norma Brasileira NBR 13.969/97.

FIGURA 5 - Desenho esquemático de um reator FAS compacto



Fonte: Edital da SABESP 499/18 (EEA ,2018)

3.7. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTO

No Brasil, convencionalmente, utiliza-se o sistema de tratamento centralizado para o tratamento do esgoto, porém estão surgindo progressivamente diversas limitações e problemas para a instalação desse modelo de tratamento. Como, por exemplo, no caso do projeto Novo Pinheiros, que diversos locais precisarão de tratamento descentralizado.

O sistema de tratamento centralizado, por ser uma obra de grande porte, demanda um maior investimento para a coleta, tratamento e destinação do efluente, além de necessitar de mão de obra especializada para operação, manutenção (Massoud *et al.*,2009).

O sistema descentralizado atende a demanda de tratamento individual (residência), bairro e ou pequenas comunidades. Esse tipo de sistema não é apenas uma solução para esses locais, como também uma forma mais confiável e econômica para o tratamento do esgoto, uma vez que apresenta menor investimento para implantação do sistema de coleta, tratamento e disposição do efluente, baixo requisito de energia e área, não requer mão de obra especializada. (Massoud *et al.*,2009).

Para atender ao do déficit do saneamento, almejando um tratamento do esgoto eficiente, e ocupando um menor espaço físico, empresas e pesquisadores desenvolveram sistemas de tratamento compacto.

Os sistemas compactos são estações de tratamento de esgoto construídas com equipamentos pré-fabricados em Polímero Reforçado de Fibra de Vidro (PRFV), polipropileno, aço, entre outros materiais que seguem as mesmas normas e diretrizes dos sistemas convencionais para seu dimensionamento, porém ocupam uma menor área de instalação.

Há lugares que são mais propícios à instalação do sistema compacto, em vez do sistema convencional de alvenaria, como:

- Locais que não possuem rede coletora de esgoto em sua proximidade;
- Locais que possuem rede coletora de esgoto, porém, sem tratamento;
- Locais que possuem rede coletora de esgoto e sistema de tratamento, porém a ETE em que será lançado o efluente não suporta mais nenhuma carga orgânica adicional, ou seja, suporta receber apenas a vazão de efluente tratado;

- Substituição de antigos sistemas de tratamentos ineficientes por sistemas mais eficientes com o intuito de atender a legislação ambiental;
- Ampliação de sistemas já existentes.

Há muita discussão sobre os sistemas convencionais de tratamento de esgoto municipais que foram executados como sistema de lagoas ou em alvenaria. Entretanto, com o crescimento populacional e a busca da universalização do saneamento, a execução de sistemas de tratamento em PRFV e outros materiais vêm crescendo muito nos últimos anos, e com isso é importante analisar seus diferenciais em relação aos sistemas convencionais de alvenaria. O sistema em PRFV se difere do sistema em alvenarias nos seguintes quesitos:

- Método construtivo: os sistemas executados como obra civil utilizam concreto, armadura de aço e com o tempo esses materiais sofrem oxidação quando utilizados em sistemas anaeróbios. O PRFV, por sua vez, é um material leve, com alta resistência à tração e flexão, não oxida com a presença de gás sulfídrico e não conduz corrente elétrica;
- Período de garantia estrutural dos reatores: a obra civil possui garantia de solidez e segurança da obra pelo prazo de cinco anos (BRASIL, 2002). Já os tanques em PRFV apresentam garantia estrutural de 10 anos;
- Facilidades operacionais: os sistemas construídos em alvenarias, normalmente, são dimensionados em 02 módulos para atender a vazão total e sua implantação ocorrem por fases, ou seja, uma fase para cada módulo. Nesse caso, quando necessário uma parada de um módulo do sistema para realizar uma manutenção, é necessário desviar o efluente que está entrando nesse módulo para o outro. Com isso, o módulo em operação receberá uma vazão e carga muito alta que afetará significativamente a eficiência do sistema e, conseqüentemente, o local de lançamento do efluente tratado. Os reatores construídos em PRFV, normalmente, são dimensionados para atender uma vazão menor em cada reator. São instalados modularmente e normalmente, possuem mais do que 02 módulos. Nesse caso, quando necessário uma parada de um módulo do sistema para realizar uma manutenção, a equipe de operação terá mais de um módulo para desviar a vazão e carga do reator em manutenção. Com isso, a eficiência do tratamento será minimamente reduzida e, conseqüentemente, o impacto no local de lançamento do efluente tratado será mínimo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar a análise técnico-financeira das alternativas de ETEs, foram consultadas a bibliografia técnica como Jordão e Pessôa (2014), Von Sperling (2007), o Atlas de Esgotos da ANA (Atlas Esgoto, 2019) e os editais de ETE compacta publicados no site da SABESP. A partir das informações obtidas nessas fontes, foram elaborados tabelas e gráficos para comparar as características das alternativas de ETEs. No presente estudo comparou-se a ETE compacta composta por reator UASB e FAS com as seguintes alternativas convencionais de ETEs:

- Reator UASB;
- Reator UASB seguido por lodos ativados;
- Reator UASB seguido por lagoa aerada facultativa
- Reator UASB seguido por lagoa facultativa;
- Lodos ativados convencional.

A escolha da comparação da ETE compacta com os sistemas convencionais acima foi baseada na sua utilização no Brasil.

A partir dos dados obtidos realizaram-se as análises comparativas de custos de implantação, área requerida, potência instalada, e volume de lodo gerado. Os custos de implantação foram comparados em relação à vazão tratada, determinando-se da seguinte forma: os valores apresentados por Jordão e Pessôa (2014) e Von Sperling (2007) eram do ano de 2002 e foi necessário atualizar os valores apresentados por eles para conseguir uma melhor comparação com os valores licitados pela SABESP. Para tanto, foi feita a correção de valores com base na atualização dos custos pelo índice INCC.

Os dados de população, vazão, custo de implantação, área disponível, potência instalada e volume de lodo gerado, foram extraídos dos editais e da documentação publicada pelos fornecedores na etapa de classificação técnica. A partir desses dados foram geradas tabelas e gráficos comparando as alternativas de ETEs compactas com as convencionais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos aspectos influenciam nos custos de implantação da estação de tratamento de esgoto como: grau de tratamento adotado, aspectos topográficos, método construtivo (concreto, aço, PRFV), área, nível de automação dos equipamentos, entre outros. Para comparar custos de implantação da ETEs de diversos anos de execução é necessário corrigir os custos para se aproximar mais da verdadeira comparação. Portanto, para atualizar os custos levantados para implantação e operação da ETE, para uma data desejada, deve-se utilizar o Índice Nacional de Custo de Construção (INCC) (Jordão e Pessôa ,2014).

Para esse estudo foram analisados os custos de implantação de estações de tratamento de esgoto com sistema UASB com pós-tratamento utilizando filtro aerado submerso, e foram comparados dois métodos construtivos sendo o convencional em alvenaria e o PRFV.

Na tentativa de apresentar os custos de implantação de ETEs com os valores nacionais Jordão e Pessôa (2014) identificaram os custos de construções mais recentes de ETEs, porém os valores apresentados eram de novembro de 2002. A fim de obter uma melhor visualização dos valores de implantação da ETEs identificadas por Jordão e Pessôa (2014), os valores foram corrigidos pelo índice INCC até sua última cotação da data de 01/11/2018 e apresentados na Tabela 4.

Já os valores de ETE compacta foram extraídos dos editais da SABESP, como citado anteriormente, sendo que a SABESP tem especificado a instalação de ETE Compacta fabricadas em PRFV. Na Tabela 5 são apresentados os dados das últimas licitações realizadas pela SABESP para ETE compacta.

TABELA 4 - Custos de implantação de Sistema UASB + Pós-tratamento

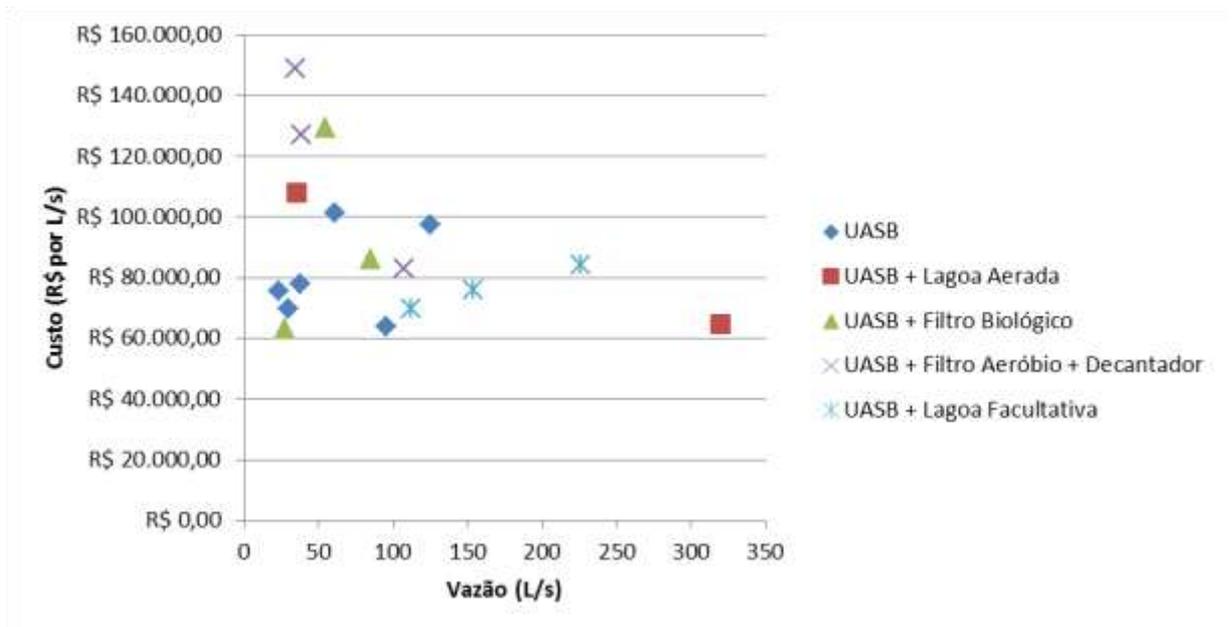
ETE	Cidade	UF	Tipo de tratamento	Pop. (hab)	Vazão (L/s)	Custo de Implantação (R\$)	Custo Implant./hab (R\$/hab)	Preço por L/s
Paranoá	Brasília	DF	Reator Anaeróbico + Lagoa Facultativa	60.000	112,00	R\$ 7.819.500,36	R\$ 130,33	R\$ 69.816,97
Alagado	Brasília	DF	Reator Anaeróbico + Lagoa Facultativa	84.853	154,00	R\$ 11.723.159,03	R\$ 138,16	R\$ 76.124,41
São Sebastião	Brasília	DF	Reator Anaeróbico + Lagoa Facultativa	77.700	226,00	R\$ 19.001.530,49	R\$ 244,55	R\$ 84.077,57
Alambary	Cambará	PR	Reator Anaeróbico + Filtro Biológico	23.479	85,00	R\$ 7.305.281,21	R\$ 311,14	R\$ 85.944,48
Congonhas	Ponta Grossa	PR	Reator Anaeróbico + Filtro Biológico	33.161	54,30	R\$ 7.035.027,05	R\$ 212,15	R\$ 129.558,51
Lajeado	Arapoti	PR	Reator Anaeróbico + Lagoa Anaeróbia/Facultativa/de Maturação	5.000	10,00	R\$ 1.456.793,94	R\$ 291,36	R\$ 145.679,39
Recanto das Emas	Brasília	DF	Reator Anaeróbico + Lagoa Aerada	125.500	320,00	R\$ 20.719.253,93	R\$ 165,09	R\$ 64.747,67
Vale do Amanhecer	Brasília	DF	Reator Anaeróbico + Lagoa Aerada	15.000	35,00	R\$ 3.782.303,49	R\$ 252,15	R\$ 108.065,81
Cará Cará	Ponta Grossa	PR	Reator Anaeróbico + Filtro Aeróbico + Decantador	24.534	38,20	R\$ 4.861.951,60	R\$ 198,17	R\$ 127.276,22
Gertrudes	Ponta Grossa	PR	Reator Anaeróbico + Filtro Aeróbico + Decantador	17.913	34,40	R\$ 5.129.019,96	R\$ 286,33	R\$ 149.099,42
Leste - Vila xexeu	Cascavel	PR	Reator Anaeróbico	81.240	125,33	R\$ 12.204.197,95	R\$ 150,22	R\$ 97.376,51
Caçadores	Cambé	PR	Reator Anaeróbico + Filtro Aeróbico + Decantador	41.811	107,30	R\$ 8.905.660,38	R\$ 213,00	R\$ 82.997,77

Tabela 4 - Custos de implantação de Sistema UASB + Pós-tratamento (cont.)

ETE	Cidade	UF	Tipo de tratamento	Pop. (hab)	Vazão (L/s)	Custo de Implantação (R\$)	Custo Implant./hab (R\$/hab)	Preço por L/s
Alamada Montante	Foz do Iguacú	PR	Reator Anaeróbio	47.585	61,13	R\$ 6.185.379,79	R\$ 129,99	R\$ 101.184,03
I8	Toledo	PR	Reator Anaeróbio	11.987	22,88	R\$ 1.730.945,18	R\$ 144,40	R\$ 75.653,20
Das Antas	Andirá	PR	Reator Anaeróbio	9.072	29,66	R\$ 2.072.268,53	R\$ 228,42	R\$ 69.867,45
Sengés	Sengés	PR	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico	18.191	26,90	R\$ 1.701.687,46	R\$ 93,55	R\$ 63.259,76
Almada Jus.	Foz do Iguacu	PR	Reator Anaeróbio	70.622	95,17	R\$ 6.088.163,29	R\$ 86,21	R\$ 63.971,45
Barretos	Andirá	PR	Reator Anaeróbio	13.466	37,21	R\$ 2.901.175,94	R\$ 215,44	R\$ 77.967,64

Fonte: Jordão e Pessoa (2014), com os valores corrigidos pelo índice INCC (01/11/2018).

FIGURA 6 - Custo de implantação de ETEs com tratamento UASB e Pós-Tratamento



Fonte: Jordão e Pessôa (2014), com os valores corrigidos pelo índice INCC (01/11/2018).

Os sistemas analisados por Jordão e Pessôa (2014) foram agrupados conforme o tipo de pós- tratamento instalado. Pode-se perceber que na maioria dos sistemas o custo de implantação por L/s apresentou a tendência de ser menor conforme o aumento da vazão.

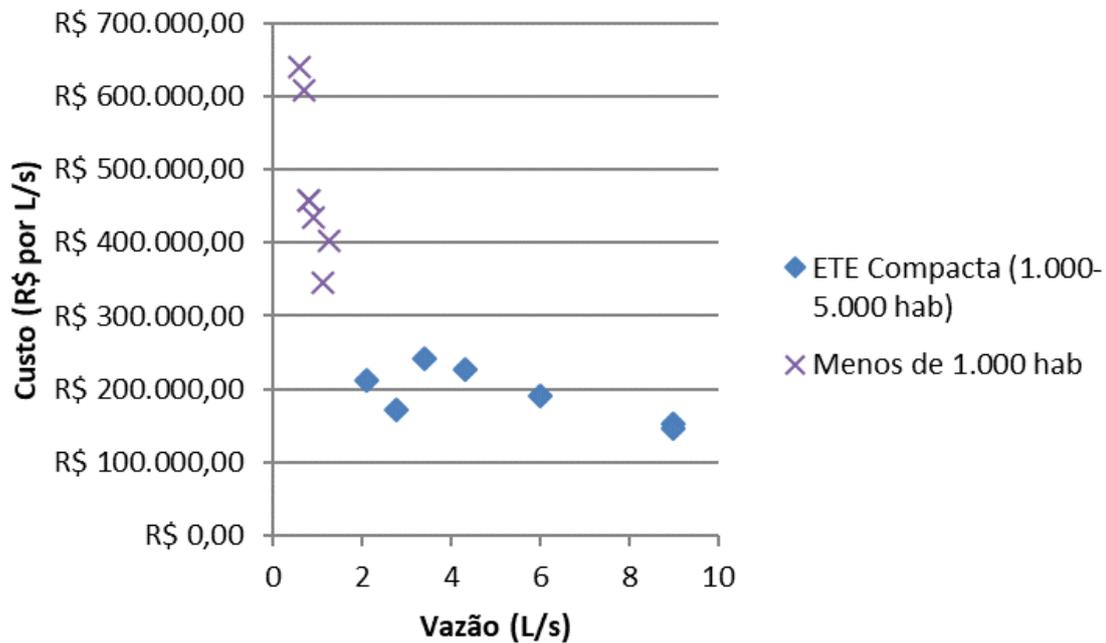
As ETEs Cará Cará, Gertrudes e Caçadores, possuem o sistema UASB + Filtro Aeróbio + Decantador como processo de tratamento se assemelhando ao sistema licitado pela SABESP.

TABELA 5 – ETEs Compactas licitada pela SABESP

Edital	Local	Empresa Ganhadora	Pop (hab)	Vazão (L/s)	Custo de Implantação (R\$)	Custo Imp./hab (R\$/hab)	Preço por L/s	Área (m ² /hab)	Potência instalada (W/hab)	Consumo de energia p/aeração (Kwh/hab.ano)	Volume de lodo (L/hab.ano)
03212/18	Capitão Braz	Life Soluções	1635	3,4	825.000,00	504,59	242.647,06	0,07	1,90	10,64	78,13
02661/18	Barnabés /Juitiba	BIO G	3627	6	1.150.000,00	317,07	191.666,67	0,11	2,34	17,76	65,41
499/18	Iguape	EEA	4788	9	1.380.000,00	288,22	153.333,33	0,24	2,61	16,82	157,80
04444/18	Ribeirão da Várzea - Itapirapuã Pta.	Sanex	749	1,25	504.000,00	672,90	403.200,00	0,40	3,70	25,81	131,58
04445/18	Vila Ito	Life Soluções	426	0,7	425.000,00	997,65	607.142,86	0,14	5,64	37,81	231,34
02132/19	Icapara	BIO G	2636	4,3	975.000,00	369,88	226.744,19	0,27	1,86	10,75	110,77
01617/19	Tapiraí	BIO G	5474	9	1.322.000,00	241,51	146.888,89	0,14	1,23	8,12	124,69
02079/19	Ponte Alta	Saneforte	546	0,9	390.000,00	714,29	433.333,33	0,55	6,22	36,58	106,96
02412/19	Cananéia (Porto Cubatão)	BIO G	1412	2,78	474.550,00	336,08	170.701,44	0,19	3,63	21,45	124,08
03110/19	Pedrinhas	Saneforte	1232	2,1	445.000,00	361,20	211.904,76	0,48	1,95	13,07	201,46
03688/19	Abóbora (Cajati)	Saneforte	366	0,6	384.000,00	1.049,18	640.000,00	0,82	6,56	44,01	199,45
03688/19	Jacupiranguinha (Cajati)	Saneforte	487	0,8	365.500,00	750,51	456.875,00	0,74	4,93	33,07	202,36
03688/19	Vila Andreia (Cajati)	Saneforte	487	0,8	365.500,00	750,51	456.875,00	0,74	4,93	33,07	202,36
03672/19	Morro Agudo	Saneforte	662	1,1	379.200,00	572,81	344.727,27	0,45	3,63	24,33	336,33

Fonte: SABESP (2018, 2019).

FIGURA 7 - Custo de implantação de ETE's licitadas pela SABESP



Fonte: SABESP (2018, 2019).

Os sistemas de ETE compacta apresentaram a mesma tendência das ETEs convencionais, ou seja, o custo de implantação por L/s diminui conforme a vazão aumenta. As ETEs compactas são sistemas pré-moldados, ou seja, as empresas possuem reatores (equipamentos) pré-dimensionados e conforme a vazão do empreendimento, escolhem qual modelo vai melhor atender a situação solicitada. Cada módulo possui uma faixa de vazão que consegue atender, quando a vazão do empreendimento for a mínima do módulo o custo por L/s será maior do que quando a vazão do empreendimento for à máxima permitida do equipamento. Assim, essa é mais uma variável para que o custo de implantação por L/s seja menor conforme o aumento da vazão.

Vale ressaltar que os valores apresentados na Tabela 5. são apenas para fornecimentos e instalação dos equipamentos: é necessário contabilizar o custo para execução das obras civis de cada estação de tratamento de esgoto. Os serviços que contemplam a obra civil da ETE seriam: limpeza do terreno, terraplenagem, compactação, execução da fundação para os reatores, casa de operação, cercamento (alambrado, muro de arrimo, cerca verde, entre outros), poços enterrados como estação de elevatória de esgoto bruto e/ou tratado.

Além dos custos de implantação da ETE, deve-se analisar a área instalada, volume de lodo a tratar, potência instalada, entre outros parâmetros. Von Sperling (1995) apresentou a variação de valores mínimos e máximos dos parâmetros citados anteriormente, porém os valores são referentes aos valores do ano de 2002. Utilizando o mesmo método aplicado para a correção dos valores de implantação de ETE e convertendo a moeda dólar em real foi possível atualizar os valores apresentados por Von Sperling (1995), e compará-los com os valores levantados através da licitação da SABESP (Tabela 6). Além disso, as ETEs licitadas pela SABESP foram separadas em duas categorias, ETEs dimensionadas para atender uma população menor do que 1.000 habitantes e ETEs dimensionadas para atender uma população entre 1.000 a 5.000 habitantes.

TABELA 6 - Características típicas de sistemas de tratamento de esgoto, expressas conforme valor per capita.

Parâmetros	UASB+FAS		UASB + Lodos Ativados		UASB		UASB + Lagoa Facultativa		Lodos Ativados Convencional		UASB + Lagoa Aerada Facultativa		UASB+FAS (ETE Compacta) (< 1.000 hab)		UASB+FAS (ETE compacta) (Entre 1.000 a 5.000 hab)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Área (m ² /hab)	0,05	0,15	0,08	0,20	0,03	0,1	1,5	2,5	0,12	0,25	0,15	0,3	0,14	0,82	0,07	0,48
Potência instalada (W/hab)	1,80	3,50	1,80	3,50	0	0	0	0	2,5	4,5	0,3	0,6	3,63	4,93	1,23	3,63
Consumo de energia para aeração (kWh/hab.ano)	14,00	20,00	14,00	20,00	0	0	0	0	18	26	2	5	24,33	44,01	8,12	21,45
Volume de lodo a tratar (L/hab.ano)	180,00	400,00	180,00	400,00	70	220	150	250	1100	3000	150	300	131,58	336,33	65,41	201,46
Custo de implantação (R\$/hab)	218,05	348,89	261,66	392,50	104,67	174,44	130,83	261,66	348,89	566,94	130,83	305,28	572,81	1.049,18	241,51	504,59

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

Notas:

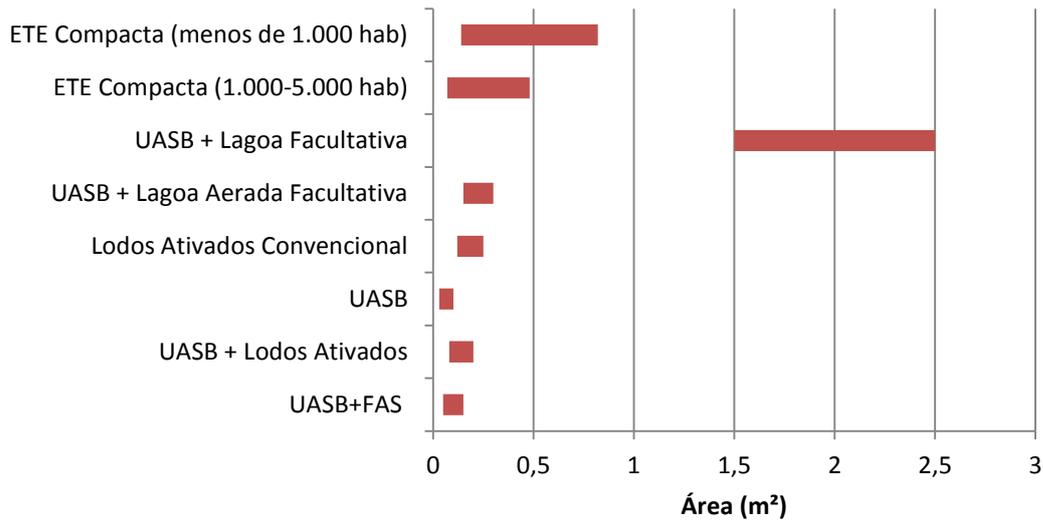
Os requisitos energéticos não incluem o eventual bombeamento de esgoto bruto.

Em 2002 a cotação estava US\$ 1,00 = R\$ 2,50

Valores corrigidos pelo índice INCC (01/11/2018)

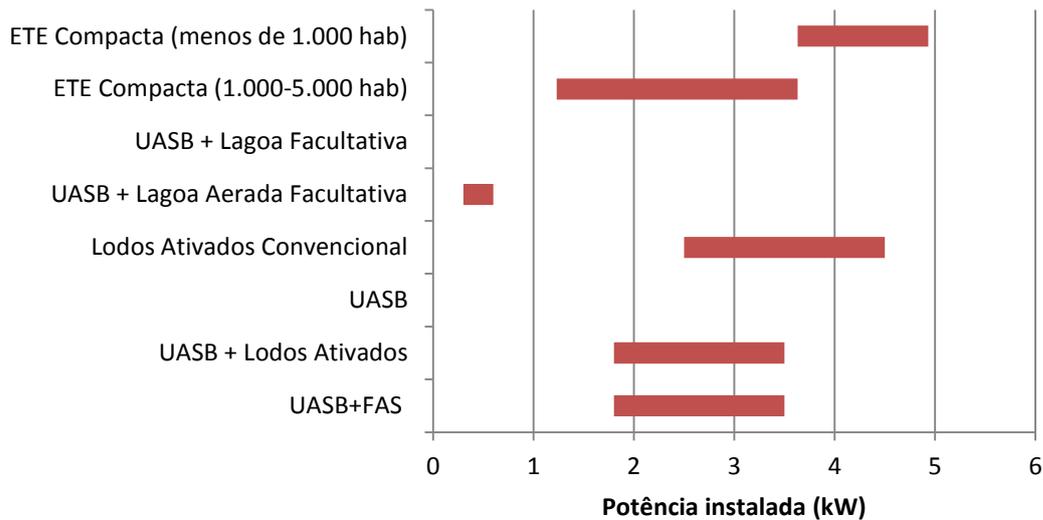
A partir da Tabela 6 foram elaborados gráficos de cada parâmetro, com o intuito de comparar as faixas de valores, especificamente os valores de mínimo e máximo de cada tipo de sistema apresentado.

FIGURA 8 - Comparação de área requerida dos sistemas analisados.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

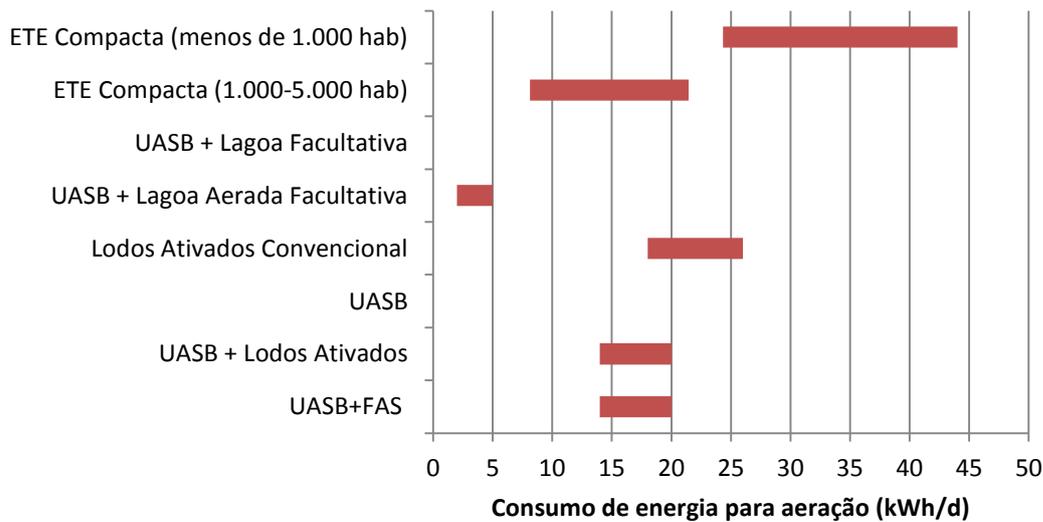
FIGURA 9 - Comparação de potência instalada dos sistemas analisados.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

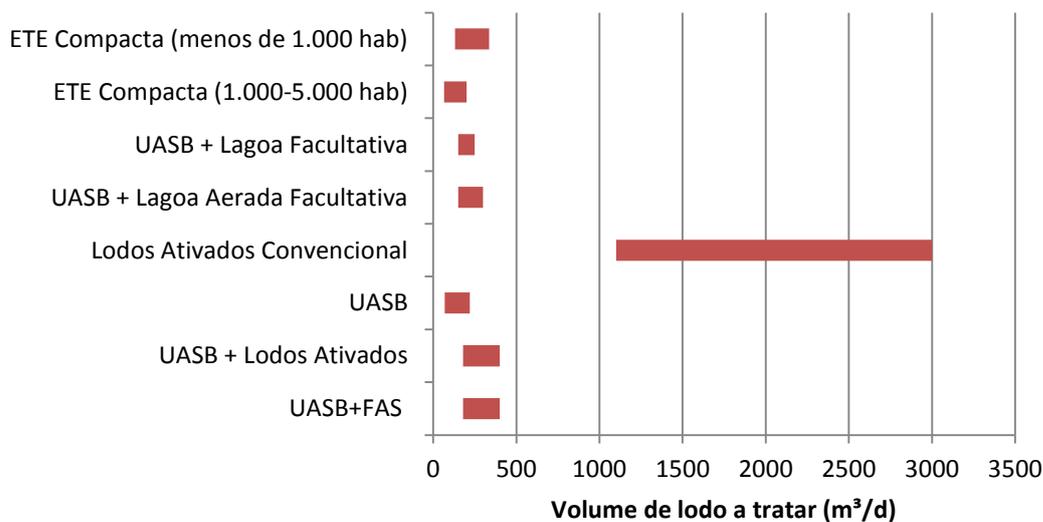
Mesmo as ETEs compactas apresentando altas variações de área requeridas, são muito mais baixas dos que o sistema de UASB seguido de lagoa facultativa (Figura 8). As ETEs compactas apresentam variações similares aos outros sistemas de tratamento de esgoto abordados (Figura 9). A variação da potência de ETE compacta para atender população com menos de 1.000 habitantes é pequena, porém inicia-se com valores mais altos do que os outros sistemas.

FIGURA 10 - Comparação de consumo de energia para aeração dos sistemas analisados.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

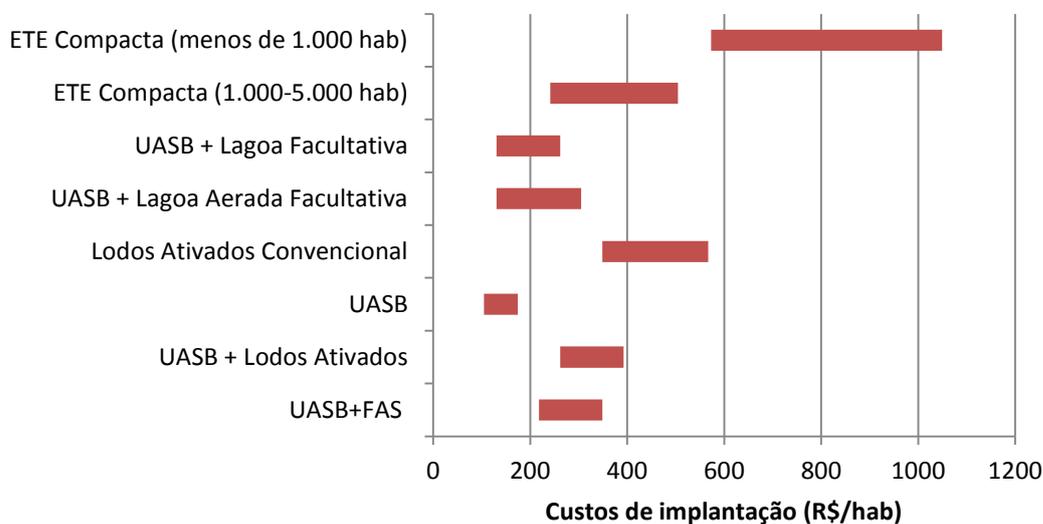
FIGURA 11 - Comparação do volume de lodo a tratar dos sistemas analisados.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

A ETE compacta (menos de 1.000 hab) apresenta os maiores valores de consumos de energia para a aeração do sistema de tratamento de esgoto (Figura 10). Enquanto a ETE compacta (1.000 – 5000 hab) apresenta valores abaixo dos outros sistemas abordados. O volume de lodo gerado nas ETEs compactas é muito similar aos outros sistemas, com exceção ao sistema de lodos ativados convencional que produz muito lodo (Figura 11). A ETE compacta (menos de 1.000 hab) apresenta os maiores valores de custo de implantação por habitante (Figura 12).

FIGURA 12 - Comparação de custo de implantação dos sistemas analisados.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

Além dos aspectos citados acima, existem outros aspectos que devem ser analisados na implantação de um sistema de tratamento de esgoto, como o tempo de execução, eficiência do sistema de tratamento, custos de operação. O tempo de execução da obra possui impacto direto no custo de uma obra. As empresas fornecedoras de ETE Compactas como: EEA, BIO G, Life Soluções, SNatural, Saneflux, entre outras, apresentam em seus orçamentos o prazo para execução da obra entre 90 a 120 dias. O tempo de execução das ETEs convencionais fica em torno de 2 anos (dependendo da complexidade da obra), isso sem considerar quando ocorrem embargos de obra.

A operação do sistema compacto é mais simples do que o sistema convencional. Normalmente requer apenas um operador para as rotinas operacionais como a limpeza do tratamento preliminar, normalmente manual, verificações de funcionamento dos

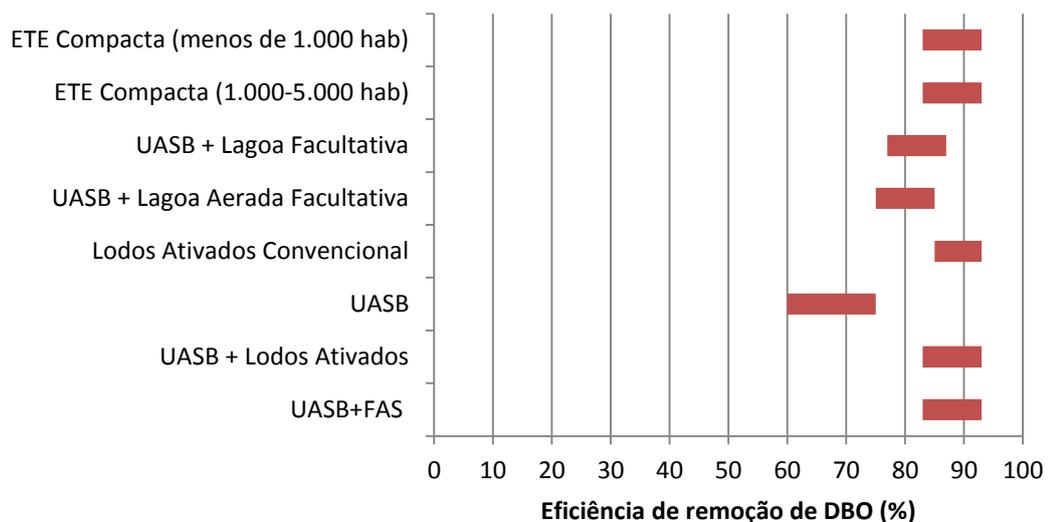
equipamentos, coletas de amostras, manobras de registros, entre outras. As manutenções esporádicas que exigem maiores esforços como trocas de equipamentos, trabalho em altura, trabalho em espaço confinado, entre outros, pode-se contratar uma empresa especializada.

As ETEs convencionais, normalmente, necessitam de diversos operadores devido a complexidade e quantidade de serviços diários que são realizados no sistema. Mesmo com diversos operadores, algumas manutenções são realizadas apenas por empresas especializadas e que deverão ser contratadas conforme a necessidade.

A legislação determina alguns parâmetros de lançamento do efluente tratado e em casos de lançamento em corpo d'água, exigem parâmetros de qualidade. Dessa forma, além de analisar os aspectos de área, consumo de energia, produção de lodo, tempo de execução, operação, etc. deve-se avaliar a eficiência do sistema.

Von Sperling (1995) realizou um levantamento de eficiência de remoção de matéria orgânica, nitrogênio, sólidos, entre outros parâmetros de diversos tipos de sistema de tratamento. Para esse estudo foi abordado à eficiência de remoção da matéria orgânica e de nitrogênio dos sistemas estudados, demonstrados na Figura 13 e Tabela 7.

FIGURA 13 - Comparação de eficiência de remoção de DBO dos sistemas analisados.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

TABELA 7 - Comparação de eficiência de remoção de Nitrogênio dos sistemas analisados.

Sistema de tratamento	Eficiência Remoção de N (%)
UASB+FAS	<60
UASB + Lodos Ativados	<60
UASB	<60
Lodos Ativados Convencional	<60
UASB + Lagoa Aerada Facultativa	<30
UASB + Lagoa Facultativa	50-65
ETE Compacta (1.000-5.000 hab)	<60
ETE Compacta (menos de 1.000 hab)	<60

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007) e SABESP (2018, 2019).

Independente do método construtivo da ETE a eficiência do sistema dimensionado será a mesma, ou seja, o sistema UASB+FAS será igual para as ETE convencionais quanto para as ETEs compactas. Percebe-se que o sistema combinado (UASB + FAS) apresenta remoção de DBO similar ao um dos sistemas mais eficientes (lodos ativados) e praticamente todos os sistemas analisados apresentaram a mesma eficiência de remoção do nitrogênio.

6. CONCLUSÃO

Apesar das ETEs compactas apresentarem em alta variação para a área requerida por habitante, ainda assim, são muito menores do que o sistema de UASB seguindo de lagoa facultativa.

O volume de lodo a tratar apresentado pela ETE compacta foi similar aos outros sistemas analisados e muito abaixo do sistema de lodos ativados convencional.

Tanto o consumo de energia quanto o custo de implantação da ETE compacta que atende a população menor do que 1.000 habitantes foram maiores do que outros sistemas analisados. Enquanto o da ETE que atende a população entre 1.000 a 5.000 habitantes apresentou valores similares aos outros sistemas analisados.

Em geral, o sistema de ETE compacta tanto para a faixa de população menor que 1.000 habitantes quanto para a faixa entre 1.000 a 5.000 habitantes, apresentaram variações de valores mínimo e máximo muito próxima ao dos sistemas convencionais abordados.

Além disso, necessitam de um menor tempo para execução de obra e possuem maior facilidade operacional, sendo grandes diferenciais na tomada de decisão do empreendedor. Lembrando que não foram analisados os custos de operação das ETEs compacta e os custos de desidratação do lodo, sendo esses, importantes parâmetros para uma avaliação mais completa do sistema compacto.

Com os dados levantados, nesse estudo, percebe-se que a ETE compacta se adequa como uma solução para atendimento de novos empreendimentos, comunidades, bairros além de atender localidades existentes que não possuem o sistema de rede coletora e/ou sistema de tratamento de esgoto disponível. Assim, esse método de construção de ETE pode atender diversas necessidades, se tornando uma das soluções para a universalização do saneamento no Brasil.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após as avaliações dos resultados obtidos e visando a ampliar o conhecimento sobre os sistemas compactos, sugere-se que sejam levantados e avaliados os itens apresentados a seguir sobre os sistemas de ETEs compactas.

- Avaliar os custos operacionais dos diferentes sistemas de ETEs compactas;
- Avaliação dos melhores tipos de sistema de desidratação de lodo para o sistema compacto e seus custos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistema de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993.
- 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.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017.
- BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n.8, p. 1-74, 11 jan. 2002.
- CHERNICHARO, C. A. L.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B.. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Anaerobic Reactors**, v.04, London: IWA, 2007.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº03212/18**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 3,4 L/S PARA O BAIRRO CAPITÃO BRAZ, MUNICÍPIO DE CAJATI - UN VALE DO RIBEIRA – RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 21 ago, 2018.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº 02661/18**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA, COM VAZÃO DE 6 L/S PARA BAIRRO BARNABÉS, MUNICÍPIO DE JUQUITIBA, UN VALE DORIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 20 ago, 2018.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº00499/18**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA, COM VAZÃO DE 9 L/S PARA O BAIRRO DO RIBEIRA - MUNICIPIO DE IGUAPE - UN VALEDO RIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 03 abr, 2018.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº04444/18**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 1,25 L/S, PARA O BAIRRO RIBEIRÃO DA VÁRZEA, MUNICIPIO ITAPIRAPUÃ PAULISTA - UN

VALE DO RIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 06 set, 2018.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº02132/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 4,3 L/S, PARA O BAIRRO ICAPARA, MUNICÍPIO DE IGUAPE - UN VALE DO RIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 02 jul, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº04445/18**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 0,7 L/S, PARA O BAIRRO VILA ITO, MUNICÍPIO DE RIBEIRA - UN VALE DO RIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 05 set, 2018.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº01617/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 9L/S, PARA SEDE DO MUNICÍPIO DE TAPIRAÍ - UN VALE DO RIBEIRA - RR SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 03 set, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº02079/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 0,90 L/S, PARA O BAIRRO PONTE ALTA, MUNICÍPIO DE BARRA DO CHAPÉU - UN VALE DO RIBEIRA - RR SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 10 set, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº02412/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 2,78 L/S, PARA O BAIRRO PORTO CUBATÃO, MUNICÍPIO DE CANANÉIA - UN VALE DO RIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 01 ago, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº03110/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 2,1 L/S, PARA O BAIRRO PEDRINHAS, MUNICÍPIO DE ILHA COMPRIDA - UN VALE DO RIBEIRA - RR. SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 10 out, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº03688/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO, COMPACTAS, COMPLETAS, PARA OS BAIRROS ABÓBORA, JACUPIRANGUINHA, VILA ANDREIA E VILA TATU, NO MUNICÍPIO DE CAJATI - UN - VALE DO RIBEIRA - RR SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 04 out, 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Edital de licitação nº03672/19**, FORNECIMENTO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMPACTA, COMPLETA DE 1,1 L/S, PARA O BAIRRO MORRO AGUDO, MUNICÍPIO DE BARRA DO CHAPÉU - UN VALE DO RIBEIRA - RR SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. 08 out, 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Publicada no DOU nº 092, de 16/05/2011, págs. 89-97.

DOMINGUES, L. M. **Sistema combinado filtro anaeróbio-biofiltro aerado submerso: avaliação da partida e da nitrificação de esgoto sanitário**. 2005. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2005

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto Novo Rio Pinheiros**. São Paulo, 16 Ago. 2019. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/governo-anuncia-pacote-de-obras-para-projeto-do-novo-rio-pinheiros/>>. Acesso em 19 out. 2019

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto Novo Rio Pinheiros**. Disponível em: <<http://novoriopinheiros.sp.gov.br/#possivel>>. Acesso em 19 out. 2019

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 969 p.

MASSOU, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management** v. 90, n. 1, .p. 652–659, 2009.

NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; GUERECA, L.P.; HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment Technologies in Latin America. **Clean Soil Air Water**, México, v. 40 n. 9, : p. 926-932. 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto Estadual n. 8.468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 09 set. 1976.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

VON SPERLING, Marcos. **Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal**, v.01. London, 2007.