



Fundação Escola de
Sociologia e Política
de São Paulo.

RECONHECIMENTO DESDE 1933

ELIZEU ALVES DE LIRA JUNIOR

OS IMPACTOS DE AREIA NAS ETES NO LITORAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

São Paulo

Junho/2021

ELIZEU ALVES DE LIRA JUNIOR

OS IMPACTOS DE AREIA NAS ETEs NO LITORAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Artigo científico apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista/bacharel em MBA em Saneamento Ambiental, sob a orientação da Profa. Msa Luciana Silveira.

São Paulo
Junho/2021

Catálogo-na-Publicação – Biblioteca FESPSP

628.364

L768i Lira Junior, Elizeu Alves de.

Os impactos de areia nas ETEs no litoral do Estado de São Paulo / Elizeu Alves de Lira Junior. – 2021.
30 p. ; 30 cm.

Orientadora: Professora Mestra Luciana Silveira.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização: MBA em Saneamento Ambiental) – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

Bibliografia: p. 29-30.

1. Areia. 2. Granulometria. 3. ETE. 4. Desarenação. 5. Esgoto. I. Silveira, Luciana. II. Título.

CDD 23.: Esgoto e águas residuais – Tratamento 628.364
Elaborada por Éderson Ferreira Crispim CRB-8/9724

ELIZEU ALVES DE LIRA JUNIOR

OS IMPACTOS DE AREIA NAS ETEs DO LITORAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Artigo científico apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista/bacharel em MBA em Saneamento Ambiental, sob a orientação da Profa. Msa Luciana Silveira.

Data de aprovação:

_____/_____/_____.

Banca examinadora:

Nome do (a) professor (a), titulação,

Instituição e assinatura.

Nome do (a) professor (a), titulação,

Instituição e assinatura.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que nos oferece;

A minha família, em especial à minha esposa Genilsa Correia de Andrade e aos meus filhos Micaella de Andrade Lira e Jonathan de Andrade Lira por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem em todos os momentos da minha vida;

Aos meus pais pelo incentivo e apoio em toda minha jornada acadêmica;

A Prof.^a Msa. Luciana Silveira, pela orientação e dedicação para conclusão deste curso;

Aos professores do Curso de MBA da FESPSP pela dedicação e ensinamentos transmitidos no curso;

À SABESP, pela oportunidade de crescimento profissional e apoio para que eu realizasse esse curso.

RESUMO

O objetivo deste artigo é verificar os impactos causados pela areia nas Estações de Tratamento de Esgoto no Litoral de São Paulo. Para elaboração do estudo foram analisadas as características físicas da areia em contato com esgoto, os métodos e parâmetros utilizados para o dimensionamento das unidades de desarenação consideradas em literatura, dados de projetos para remoção de areias nas ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto), além de analisar as tecnologias existentes para separação da areia nas unidades do tratamento preliminar. Os dados utilizados no estudo foram obtidos através de pesquisa bibliográfica e relatórios de projeto produzidos pela concessionária, onde os resultados obtidos indicam a correlação da capacidade e qualidade de tratamento da ETE com a eficiência do sistema de remoção de areia, sendo necessário se aprofundar os estudos das características físicas das areias em contato com esgoto para melhor dimensionamento dos desarenadores.

Palavras-chave: Areia. Granulometria. ETE. Desarenação. Esgoto.

ABSTRACT

The aim of this article is to verify the impacts caused by sand on sewage treatment plants on the Coast of São Paulo. For the preparation of the study, we analyzed the physical characteristics of the sand in contact with sewage, the methods and parameters used for the dimensioning of the dearenation units considered in the literature, project data for sand removal in the Sewage Treatment Plant (ETEs), in addition to analyzing the existing technologies for separation of sand in the units of preliminary treatment. The data used in the study were obtained through bibliographical research and project reports produced by the concessionaire, where the results obtained indicate the correlation of the capacity and quality of treatment of TEE with the efficiency of the sand removal system, and it is necessary to deepen the studies of the physical characteristics of the sands in contact with sewage for better dimensioning of the desarenadores.

Keywords: Sand. Granulometry. ETE. Desarenation. sewage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de processo de tratamento.....	12
Figura 2 – Dimensão equivalente da areia.....	16
Figura 3 – Compartimento de setores.....	18
Figura 4 – Diâmetro médio de areia de praias.....	18
Figura 5 – Curva granulométrica das ETEs da Baixada Santista.....	20
Figura 6 – Caixa de fluxo horizontal.....	24
Figura 7 – Caixa de areia aerada.....	25
Figura 8 – Caixa de areia vórtice.....	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Compartimento das Praias de São Paulo.....	17.
Quadro 2 – Caixa de Fluxo Horizontal.....	23.
Quadro 3 – Caixa Aerada.....	25.
Quadro 4 – Caixa por Vórtice.....	26.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudo Granulometria SABESP.....	19.
Tabela 2 – Porcentagem Retida (%) nas Aberturas nas Peneiras em mm.....	21.
Tabela 3 – Análise Granulométrica dos Resultados da figura 5.....	21.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIP	Catálogo-na-publicação
ESP	Escola de Sociologia e Política
FaBCI	Faculdade de Biblioteconomia e Ciência da Informação
FESPSP	Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
ETEs	Estações de Tratamento de Esgotos
ATA	Agentes Tenso Ativos
DEA	Dimensão Equivalente da Areia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 ASPECTOS FÍSICOS DA AREIA	15
2.1 Características da areia no esgoto	15
2.2 Análise Granulométrica	17
2.3 Características do Sistema de Desarenação	22
2.3.1 Caixa de Fluxo Horizontal	22
2.3.2 Caixa Aerada.....	24
2.3.3 Caixa de Fluxo em Vórtice	26
2.4 Eficiência dos Sistemas de Desarenação	27
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS.....	29

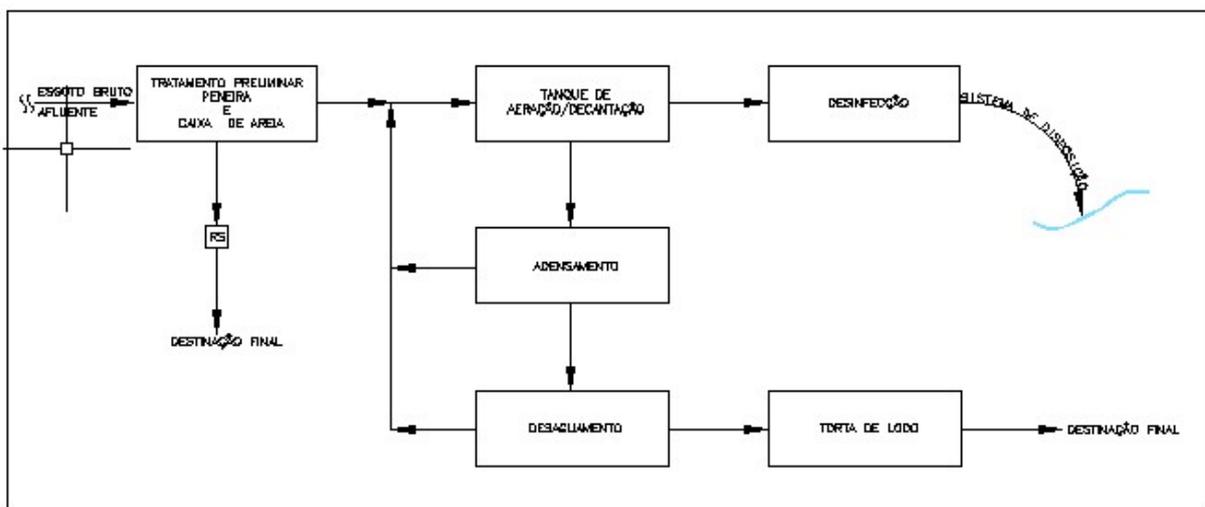
1 INTRODUÇÃO

De uma maneira em geral, as ETE têm a finalidade de reduzir as cargas poluidoras do esgoto e proporcionar o lançamento de um efluente tratado em conformidade com os padrões de qualidades exigidos pela legislação ambiental. No Litoral de São Paulo, as ETEs são geralmente constituídas pelas principais etapas:

1. Tratamento preliminar: gradeamento e desarenação;
2. Tanques de aeração e Decantação;
3. Desinfecção;
4. Adensamento e desidratação de lodo.

Podemos observar na Figura 1 que cada etapa do processo tem influência direta na etapa seguinte, assim, para um funcionamento adequado do sistema como um todo, é necessário que cada unidade opere de maneira eficiente, dentro do previsto em projeto. Daí a necessidade de se conhecer as características regionais de onde se pretende implantar o sistema de tratamento para proporcionar um melhor dimensionamento das unidades da ETE.

Figura 1: Fluxograma de processo de tratamento



Fonte: Adaptado. SABESP

Como podemos observar no fluxograma, o esgoto bruto entra na ETE na unidade do Tratamento Preliminar, cuja função é realizar a remoção de sólidos grosseiros por processos físicos (gradeamento e desarenação), impedindo que avancem para etapas seguintes do processo. Cabe ao sistema de desarenação, popularmente chamado de caixa de areia, fazer a remoção de areia do esgoto, por sedimentação

gravitacional, escoamento helicoidal ou por centrifugação (Metcalf & Eddy, 2016, 324).

Segundo Borges (2014), o sistema de desarenação é responsável pela remoção de materiais sedimentáveis de origem mineral como: areia, pedrisco, silte, escória e cascalho.

A remoção deste tipo de material na entrada do tratamento é fundamental para operação e manutenção de todo o sistema, evitando desgastes prematuros nos equipamentos das unidades seguintes.

A remoção de areia é necessária para (1) reduzir a formação de depósitos pesados em tanques de aeração, digestores aeróbios, adutoras, canais e condutos, (2) reduzir a frequência de limpeza de digestores causada pela acumulação excessiva de areia e (3) proteger as partes móveis de equipamentos contra abrasão e identificar desgastes anormais. (Metcalf & Eddy, 2016, p.353).

A NBR 12.209/2011 estabelece que os desarenadores devem ser dimensionados para remoção mínima de 95% em massa de partículas de areia com diâmetro maior ou igual a 0,2 mm, porém, no Litoral de São Paulo há regiões que apresentam partículas com granulometria menor, ou seja, areias mais finas, não sendo possível de serem removidas por desarenadores dimensionados conforme esses parâmetros, refletindo em um problema para todo o processo de tratamento.

Somado a isso, verificamos ainda que há muitas variáveis que influenciam na quantidade e características da areia que chega as ETEs, como o tipo e condições do sistema coletor de esgoto implantado, características de bacias, tipos de efluentes, volumes de infiltração em áreas com solos arenosos e carreamento de areia de praias para o coletor em cidades costeiras (Metcalf & Eddy, 2016).

Assim, observamos que um dos problemas para o desenvolvimento de sistemas de desarenação mais eficientes, está na falta de estudos e métodos que possibilitem analisar de forma quantitativa e qualitativa as características da areia no esgoto bruto que entram na ETE. Fato esse que impossibilita a verificação da eficiência dos desarenadores utilizados e diminui o interesse de empresas no desenvolvimento de novas tecnologias para solucionar essa questão.

Portanto, necessitamos de estudos qualitativos e quantitativos mais profundos que possibilitem a identificação de material de origem mineral no esgoto bruto, no sentido de se determinar as características físicas da partícula de areia no esgoto e quantificar o volume que entram nas estações de tratamento nas diferentes épocas do ano, possibilitando a definição de parâmetros mais específicos para o dimensionamento dos sistemas de remoção de areias nas ETEs para região do Litoral Paulista.

Desta forma, verificamos que a areia é um problema característico das ETEs do Litoral Paulista, por não termos dados suficientes para o dimensionamento de sistemas para remoção de areia mais eficientes e adequados para região, permitindo que a mesma avance e se acumule em quantidades além do esperado nas unidades de jusante ao Tratamento Preliminar, causando impactos consideráveis na eficiência e capacidade do tratamento, desgastes prematuros de equipamentos e elevando custos de operação e manutenção da ETE.

Assim, é de fundamental importância a realização de estudos mais aprofundados para dimensionamento e desenvolvimento de sistemas de desarenação mais eficientes, tendo em vista que as ETEs do Litoral apresentam dificuldades operacionais ocasionadas pelas areias, que se acumulam em quantidades consideráveis nos tanques de aeração, prejudicando a eficiência do tratamento biológico, além de, chegarem até as unidades de tratamento da parte sólida e causarem desgastes de equipamentos.

Portanto, este artigo tem por objetivo apresentar uma análise dos problemas causados pela areia nas ETEs do litoral paulista, no sentido de enfatizar a necessidade de estudo para o tema e destacar a importância do sistema de desarenação da unidade de pré-tratamento para eficiência do processo de tratamento, através de pesquisa bibliográfica e estudo de dados baseados nas características físicas da areia no esgoto, na análise de granulometria da areia e tipos de sistema de desarenação utilizados nas ETEs do Litoral de São Paulo.

2 ASPECTOS FÍSICOS DA AREIA

2.1 Características da areia no esgoto

Os desarenadores são utilizados nas ETE's desde o século passado, porém ainda não existem dados e estudos consistentes que permitam determinar a eficiência para remoção de areia dos equipamentos utilizados atualmente, pois nas análises realizadas são considerados apenas os materiais que ficam retidos pelos sistemas de desarenação, sendo que não há estudos no sentido de se determinar a quantidade e características real da areia que entram no sistema de tratamento e que acabam por avançar pelas unidades seguintes da ETE, acumulando em sua maior parte nos tanques de aeração e adensadores de lodo.

Segundo Metcalf & Eddy (2016), o fato dos desarenadores serem projetados para remoção de partículas com peso específico de 2,65 e dimensões maiores que 0,210 mm, aumentam os custos de operação e manutenção, isso ocorre devido aos sistemas apresentarem resultados inferiores aos esperados.

Assim, é de fundamental importância entender o comportamento da areia em contato com o esgoto e determinar a dimensão da partícula afluyente ao sistema, possibilitando um melhor dimensionamento e escolha do modelo adequado do sistema de desarenação para que se atinja os resultados esperados em projeto.

De uma maneira geral, a velocidade de sedimentação da partícula de areia está relacionada a sua dimensão. Porém no esgoto, a areia sofre influência dos agentes tenso-ativos (ATAs), que são partículas de matéria orgânicas que se aderem as partículas de areia, alterando a sua velocidade de sedimentação. Geralmente as ATAs entram em contato com a areia durante o encaminhamento pelo sistema coletor, em que encontramos uma variedade de materiais como silte, borra de café, cinzas, sementes de frutas, fragmentos de ossos.

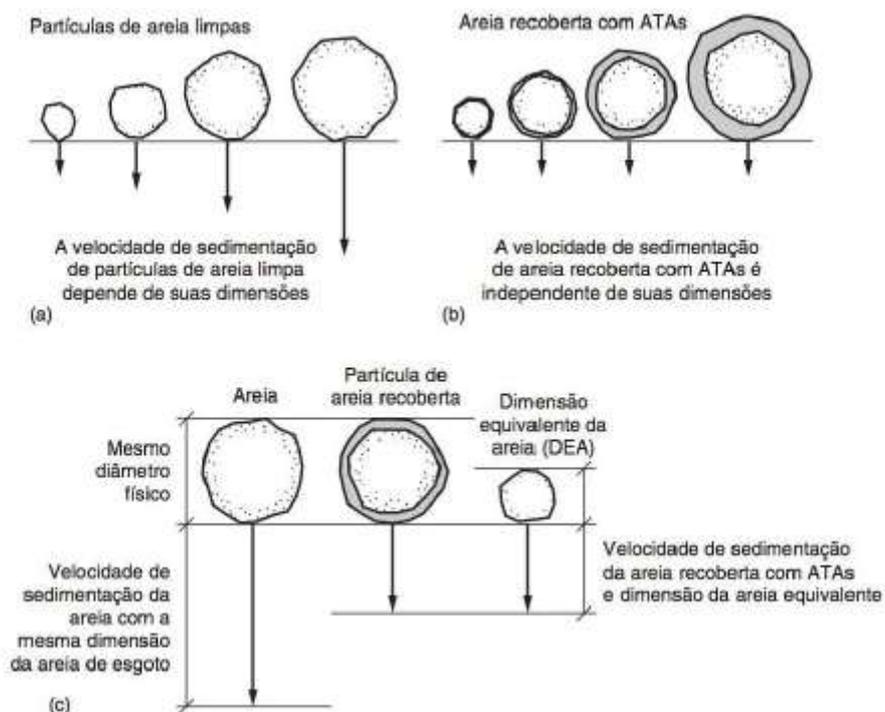
Segundo Metcalf e Eddy (2016), as ATAs influenciam no processo de sedimentação da areia, devido ao efeito de flotação das mesmas, fazendo com que a velocidade de sedimentação independa do tamanho da partícula. À medida que as ATAs se aderem à areia, as partículas vão reduzindo a sua massa específica e acabam ficando em suspensão nas caixas, fazendo que passem pelo sistema de remoção projetados e cheguem até as unidades seguintes do processo.

Nos tanques biológicos essas partículas sofrem decomposição da matéria orgânica, pelo processo de digestão da matéria orgânica realizada pelos microrganismos presentes no tanque, assim, a partícula fica livre das ATA e volta a ter a densidade de areia limpa e por consequência, terá aumento na velocidade de sedimentação, fazendo com que se depositem no fundo dos tanques.

Observa-se que os sistemas para remoção de areia são projetados considerando a velocidade de sedimentação de partículas de areia limpa, com massa específica de 2,65 e dimensões igual ou superior a 0,2 mm, contudo, temos que considerar para os projetos a influência das ATAs na velocidade de sedimentação da partícula de areia.

Para Metcalf & Eddy (2016), uma partícula recoberta com ATA e dimensão igual a uma partícula limpa, terá uma velocidade de sedimentação menor, conforme podemos observar na Figura 2.

Figura 2: Dimensão equivalente da areia



Fonte: Metcalf & Eddy, 2016, adaptado de Wilson et al., 2007.

Assim, para dimensionarmos o sistema de desarenação temos que determinar a dimensão equivalente da areia (DEA), a partir daí será possível definir a velocidade de sedimentação real da partícula envolvida pela ATA, baseada na dimensão de

uma partícula de areia limpa. Para tanto, precisamos conhecer as características da areia no esgoto, tanto em quantidade como em dimensão, afim de se determinar os parâmetros adequados para serem considerados no projeto específico para região.

2.2 Análise Granulométrica

Para determinar as características da areia, precisamos definir primeiramente as dimensões das partículas que entram no sistema de tratamento, para isso precisamos estudar e compreender à área de abrangência do projeto. No caso do litoral paulista, temos que considerar a influência das areias de praia no sistema e o período de chuvas intensa que aumentam consideravelmente a quantidade de areia que são absolvidas pelo sistema de coleta de esgoto, chegando até as ETEs.

Portanto, o estudo de granulometria e das quantidades de areia que chegam até as ETEs são de fundamental importância para definição de sistemas de desarenação mais eficientes.

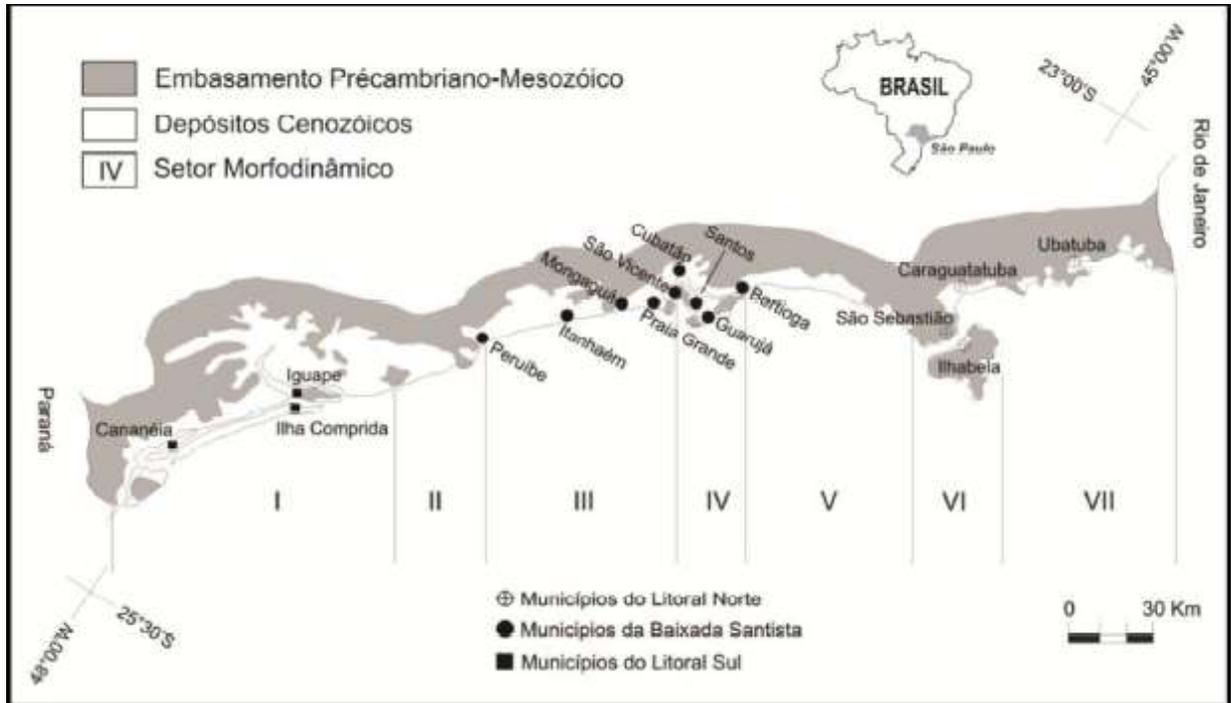
A região costeira do litoral conta com aproximadamente 430 km de extensão, com características de praias arenosas com granulometria preponderantemente de areia fina e muito fina. Souza (1997), apresentou estudo morfodinâmico para região do litoral paulista, onde a dimensão granulométrica das areias de praia foi uma das características estudada para região. Na elaboração do estudo, foi considerado o compartimento das praias de São Paulo em setores, conforme Quadro 1 e Figura 3.

Quadro 1

Compartimento das Praias de São Paulo		
Setores	Início	Término
Setor I	Praia de Ararapira (Cananéia)	Praia da Juréia (Iguape)
Setor II	Praia do Rio Verde (Iguape)	Praia do Guaraú (Peruíbe);
Setor III	Praia de Peruíbe	Praia Grande
Setor IV	Praia do Capitão (São Vicente)	Praia do Iporanga (Bertioga);
Setor V	Praia da Enseada de Bertioga	Praia de Barequeçaba (São Sebastião)
Setor VI	Praias do Canal de São Sebastião	Praias do Canal de São Sebastião
Setor VII	Praia das Cigarras	Praia do Cambury (Ubatuba)

Fonte: Souza; Suguio, 1996 *apud* Souza, 1997.

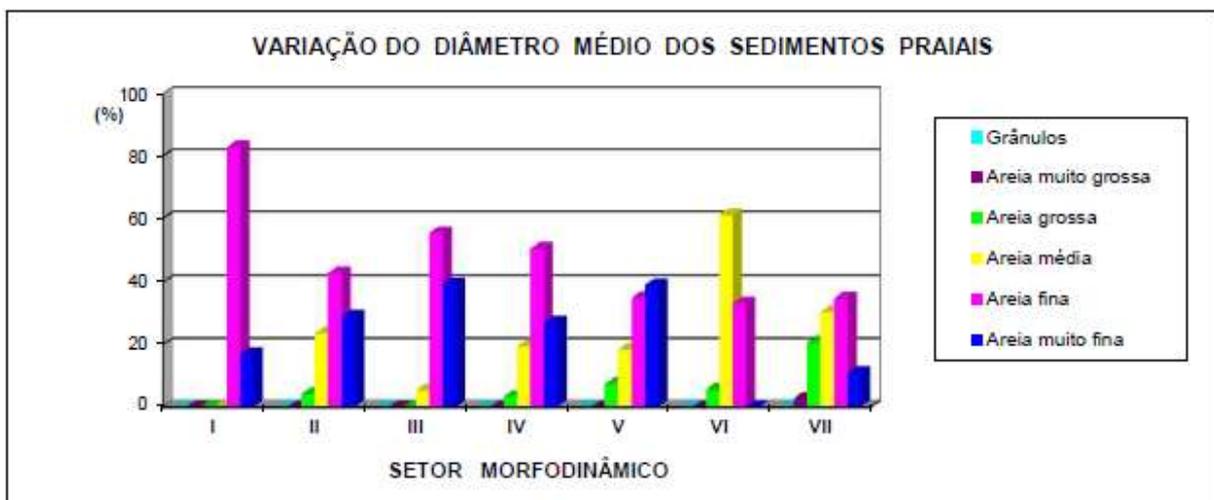
Figura 3: Compartimento de setores



Fonte: Souza; Suguio, 1996 *apud* Souza, 1997.

Como resultado para o estudo granulométrico, podemos verificar nos dados apresentados na figura 4, que há um percentual relevante de areias finas e muito finas nas praias do litoral.

Figura 4: Diâmetro médio de areia de praias



Fonte: Souza, 1997, 2003.

Portanto, podemos constatar que nas praias do litoral paulista temos uma quantidade considerável de areias finas e muito finas que podem chegar até as ETEs, o que influencia diretamente nos parâmetros para dimensionamento do sistema de desarenação.

Podemos confirmar a relevância destes dados analisando o estudo realizado pela SABESP (2009), onde os resultados mostram um percentual elevado de areia com granulometria fina e muito fina, retidas nas peneiras de 0,125 e 0,088 mm.

Tabela 1

Estudo Granulometria SABESP						
FRAÇÃO	PENEIRA (MM)	PORCENTAGEM RETIDA EM CADA PENEIRA (%)				Média
		ETE BICHORÓ	EPC VILA ZILDA	ETE		
		MONGAGUA	GUARUJÁ	BERTIOGA		
Seixo	4,000	0,32	0	0	0,11	
Granulo	2,800	0,14	0	0	0,05	
	2,000	0,39	0,04	0,01	0,15	
Muito Grossa	1,400	0,23	0,37	0,01	0,2	
	1,000	0,74	2,02	0,12	0,96	
Grossa	0,710	1,26	5,08	0,26	2,2	
	0,500	2,14	3,19	0,67	2	
Média	0,350	2,14	1,09	1,18	1,47	
	0,250	3,9	2,25	2,53	2,89	
Fina	0,177	21,71	7,15	3,86	10,91	
	0,125	42,24	39,82	13,62	31,89	
Muito Fina	0,088	21,6	34,46	69,74	41,93	
	0,062	0,88	1,16	5,36	2,47	
Grosso	0,031	0,79	0,89	0,97	0,88	
Médio	0,020	0,33	0,61	0,5	0,48	
Fino	0,006	0,22	0,34	0,27	0,28	
Muito Fino	0,004	0,11	0,25	0,16	0,17	
Argila	<0,004	0,86	1,26	0,7	0,94	

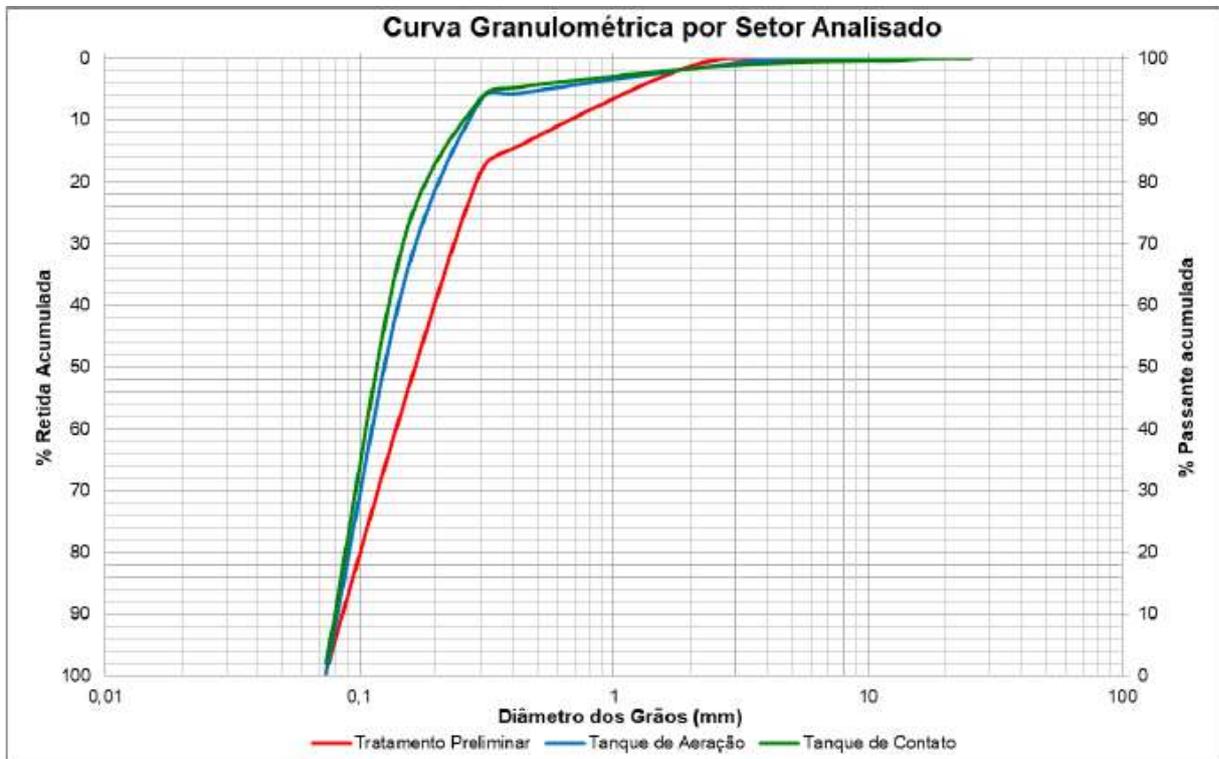
Fonte: SABESP, 2009. *apud* Borges; Souza; Brandão; Rocha; Mansoldo, 2019.

Como a areia tem sido um dos problemas recorrentes nas ETEs do litoral paulista, foi realizado estudo de caso para ETEs da Baixada Santista, apresentado no XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, onde a subcontratada do Consórcio ENGECORPOS-SHS, a empresa GEOCORING

Serviços de Sondagens e Ensaios Geotécnicos LTDA, realizou análise granulométrica conforme as recomendações e procedimentos descritos na NBR 7181/2016: Solo – Análise Granulométrica.

No estudo, foi realizado o ensaio granulométrico com a retirada de amostras em três pontos principais das ETEs, sendo o primeiro na entrada do esgoto bruto (tratamento preliminar), o segundo no tratamento biológico (Tanque de Aeração) e o terceiro na saída do efluente tratado (Tanque de contato), sendo apresentados resultados conforme Figura 5.

Figura 5: Curva granulométrica das ETEs da Baixada Santista



Fonte: Borges; Souza; Brandão; Rocha; Mansoldo, 2019.

O estudo ainda avançou no sentido de realizar o ensaio granulométrico com peneira mais fina, não prevista em norma, para tanto foi utilizada peneira com abertura de 105 μm , possibilitando refinar o resultado quanto a caracterização da areia para ETEs estudadas. Cabe ressaltar que a análise complementar foi realizada para apenas cinco amostras, como indicado na Tabela 2;

Tabela 2

Amostras	Porcentagem retida (%) nas aberturas das peneiras em mm									
	25,4	19,0	12,4	9,5	2,0	0,42	0,297	0,149	0,100	0,074
0214/18	0,0	0,0	1,0	2,0	3,9	6,5	7,8	29,2	43,7	5,8
0215/18	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	7,8	74,1	15,0
0216/18	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	3,0	4,8	21,0	60,4	9,7
0217/18	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,9	6,4	24,0	50,6	10,9
0218/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	12,6	33,3	37,9	6,1
Média	0,0	0,0	0,4	0,4	1,4	5,3	6,5	23,0	53,3	9,5

Fonte: Borges; Souza; Brandão; Rocha; Mansoldo, 2019.

Pelos resultados obtidos no ensaio granulométrica das ETEs da baixada santista, observamos que também encontramos um percentual elevado de areias fina e muito fina, retidas entre as peneiras 0,149 mm e 0,100 mm. Também é possível identificar no gráfico apresentado na figura 5, que no tratamento preliminar foi retido grãos com dimensões abaixo de 0,2 mm em porcentagens consideráveis, ainda assim, encontramos partículas com dimensões acima de 0,2 mm no tratamento biológico e tanque de contato, conforme Tabela 3.

Tabela 3

Análise Granulométrica dos Resultados da figura 5			
	PENEIRA (MM)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	PORCENTAGEM PASSANTE (%)
Tratamento Preliminar	0,2	40	60
Tanque de Aeração	0,1	82	18
Tanque de Contato	0,2	24	76
	0,1	73	27
	0,2	18	82
	0,1	70	30

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, pelos resultados obtidos nos ensaios verificamos que a areia avança pelas unidades a jusante do tratamento preliminar das ETEs do litoral paulista devido a dois fatores, não considerados no desenvolvimento do projeto dos sistemas de remoção de areia no litoral paulista.

Como primeiro fator, verificamos que no esgoto afluente do tratamento preliminar temos uma quantidade significativa de areias fina e muito fina, com um percentual em torno de 60% de partículas menores que 0,2 mm, o que compromete todo o processo de tratamento, pelo fato do sistema de desarenação ser dimensionado para remoção de partículas maiores que 0,2 mm.

Como segundo fator, observamos que no dimensionamento dos sistemas de desarenação não são considerados o DEA, ocasionado pela aderência das ATAs na partícula de areia, o que explica a presença em quantidades consideráveis de partículas maiores que 0,2 mm nos tanques de aeração e de contato.

Esses fatores impossibilitam que os resultados previstos em projeto sejam alcançados e as ETES apresentem desgastes prematuros de equipamentos, acúmulo de areia nos tanques de aeração, reduzindo a capacidade de tratamento, aumentando os custos de operação e manutenção do sistema de tratamento.

2.3 Características do Sistema de Desarenação

O sistema de desarenação consiste basicamente na separação da areia, lavagem e destino final em aterro sanitário. O processo de separação da areia é realizado por praticamente três tipos básicos de dispositivos, 1- caixas de areia de fluxo horizontal, 2 - câmaras aeradas, 3 - câmaras de fluxo em vórtice, (Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten, 2016, 525).

2.3.1 Caixa de Fluxo Horizontal

Dentre os três tipos de sistema de desarenação, as caixas de areia de fluxo horizontal são utilizadas quase que na totalidade das ETEs do litoral paulista, por apresentarem um sistema com maior facilidade de operação e manutenção, além de menor custo para implantação, porém, esse tipo de sistema é baseado na velocidade de sedimentação da partícula, assim, deve ser considerado no cálculo a influência das ATAs no seu dimensionado, afim de estabelecer o DEA adequado para o sistema.

Um parâmetro importante para dimensionamento desse tipo de sistema, é que se deve trabalhar com uma taxa de escoamento superficial entre 600 à 1300 m³/m².d,

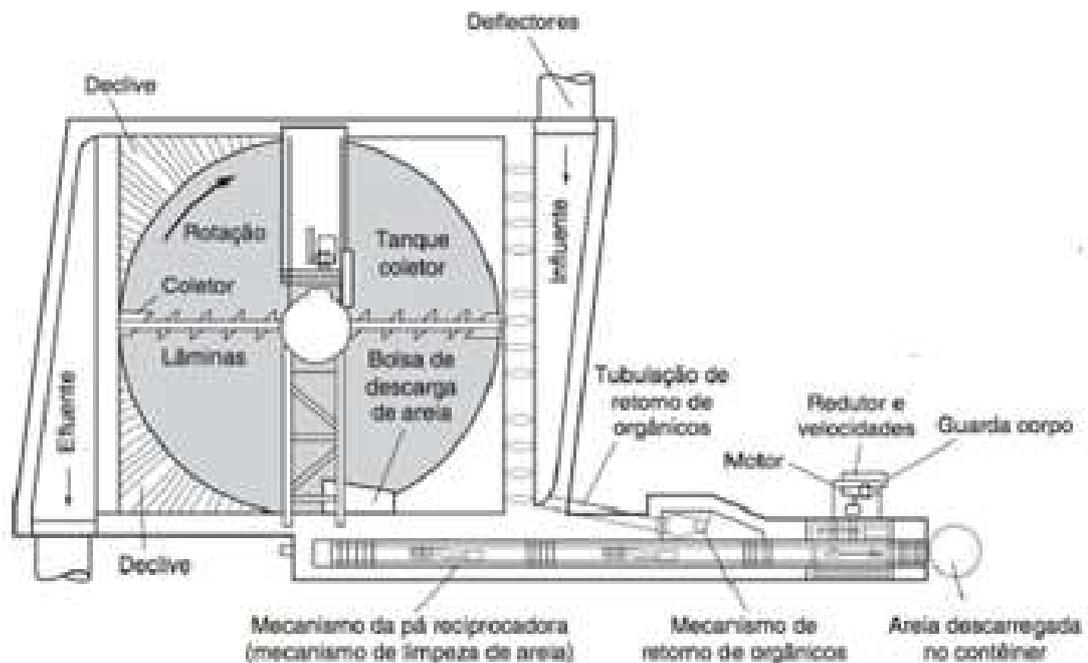
para não haver deposição de matéria orgânica junto com a areia ou arraste de areia para unidades seguintes, o que é difícil de se conseguir no litoral, devido à grande variedade de vazão, seja pela população flutuante em períodos de temporadas ou mesmo em períodos de chuvas intensas, onde a contribuição das ETEs se eleva consideravelmente. No Quadro 2 podemos verificar as vantagens e desvantagens apresentadas por este tipo de sistema.

Quadro 2

Caixa de Fluxo Horizontal	
Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de se alterar o desempenho da unidade pelo ajuste do controle de escoamento na saída	Dificuldade de manter constante a velocidade horizontal de 0,3 m/s, quando há grande variação de vazão de entrada
Unidade de fácil construção	Desgaste excessivo dos mecanismos de limpeza que ficam submersos
Quando operadas eficientemente, a areia removida não necessita ser lavada antes de sua disposição final	Se não for possível manter a velocidade horizontal de 0,3 m/s, significantes quantidades de matéria orgânica são removidas com a areia, que deverá ser lavada antes de ser disposta
Não há necessidade de controlar o escoamento	Os dispositivos de controle de escoamento, normalmente, requerem descarga livre, o que aumenta a perda de carga na unidade
Equipamentos de limpeza ficam acima do nível d'água	Os vertedores proporcionais podem provocar aumento da velocidade de escoamento no fundo do canal o que pode acarretar o carreamento de sedimentos já removidos
A perda de carga ao longo da unidade é mínima	Os anteparos de entrada não podem ser ajustados para conseguir distribuição uniforme do escoamento quando a vazão varia ao longo do dia
	Remoção de grande quantidade de material orgânico junto com a areia quando as vazões mínimas são atingidas, o que torna necessária a lavagem da areia antes de sua disposição final
	Em unidades rasas, o raspador de fundo pode causar perda de sólidos, devido à agitação provocada por seu movimento

Fonte: Water Environment Federation (1998) *apud* Prado (2006).

Figura 6: Caixa de areia de fluxo horizontal



Fonte: (Metcalf & Eddy, 2016, 359)

2.3.2 Caixa Aerada

As caixas de areia aerada funcionam através de escoamento do esgoto em espiral, realizado pela ação de conjunto difusor instalado na parte inferior em um dos lados da caixa, onde à medida que o esgoto avança pela caixa, as partículas mais pesadas vão se depositando ao passar pelo fundo do tanque, já a matéria orgânica por ser mais leve, ficam em suspensão até sair do tanque. Esse tipo de caixa tem como características a remoção de boa parte da matéria orgânica que se aderem nas partículas de areia, pelo efeito de cisalhamento causado pelas bolhas de ar, (Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten, 2016, 526).

Contudo, um parâmetro importante para esse tipo de caixa, está na necessidade de controle do ar, onde deve-se injetar a quantidade ideal para que o material sedimentável fique depositado no fundo do tanque e a matéria orgânica se

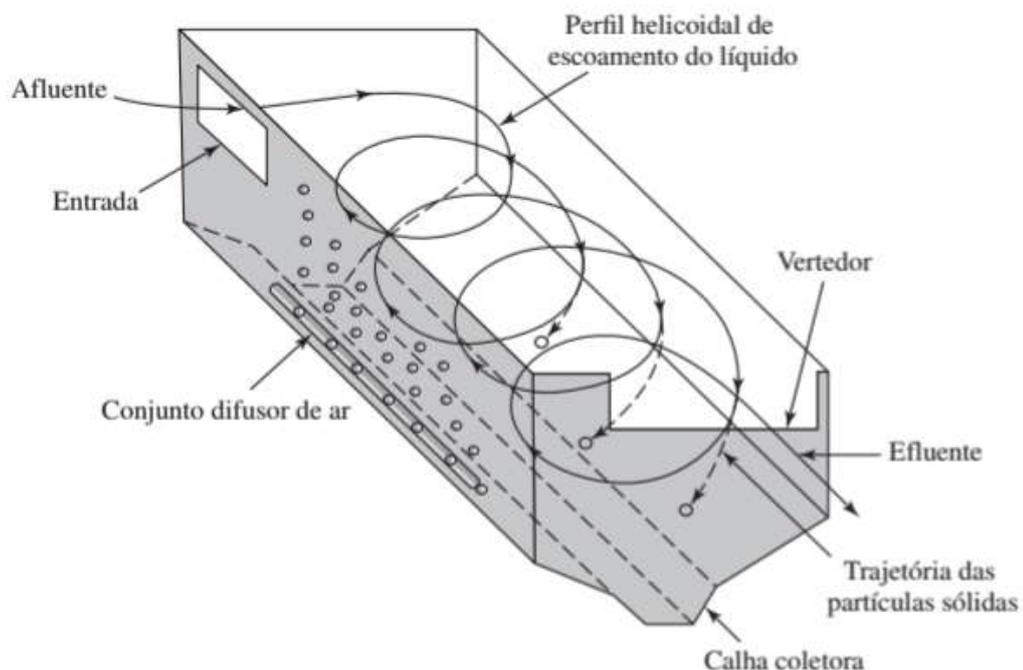
mantenha em suspensão ao longo de toda a caixa, chegando até o vertedor de saída. Esse tipo de equipamento traz vantagens e desvantagens, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3

Caixa Aerada	
Vantagens	Desvantagens
Pode ser mantida a mesma eficiência de remoção para ampla faixa de vazões	Consumo de energia mais alto que o dos outros tipos de caixa de areia
A perda de carga ao longo da unidade é mínima	Aumento do serviço de manutenção, devido à presença do sistema de aeração
O controle da vazão de ar empregada pode permitir remoção areia com baixa quantidade de material putrescível	Existe confusão quanto aos critérios de projeto necessários para se conseguir um bom padrão de escoamento em forma de espiral
A pré-aeração pode aliviar as condições sépticas do esgoto que chega a ETE	Pode ocorrer liberação de compostos orgânicos voláteis e odores ofensivos, potencialmente perigosos
Os desarenadores aerados podem servir como: reatores de mistura para adição de produtos químicos, pré aeradores e floculadores anteriores ao tratamento primário	

Fonte: Water Environment Federation (1998) *apud* Prado (2006).

Figura 7: Caixa de areia aerada



Fonte: (Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten, 2016, 526).

2.3.3 Caixa de Fluxo em Vórtice

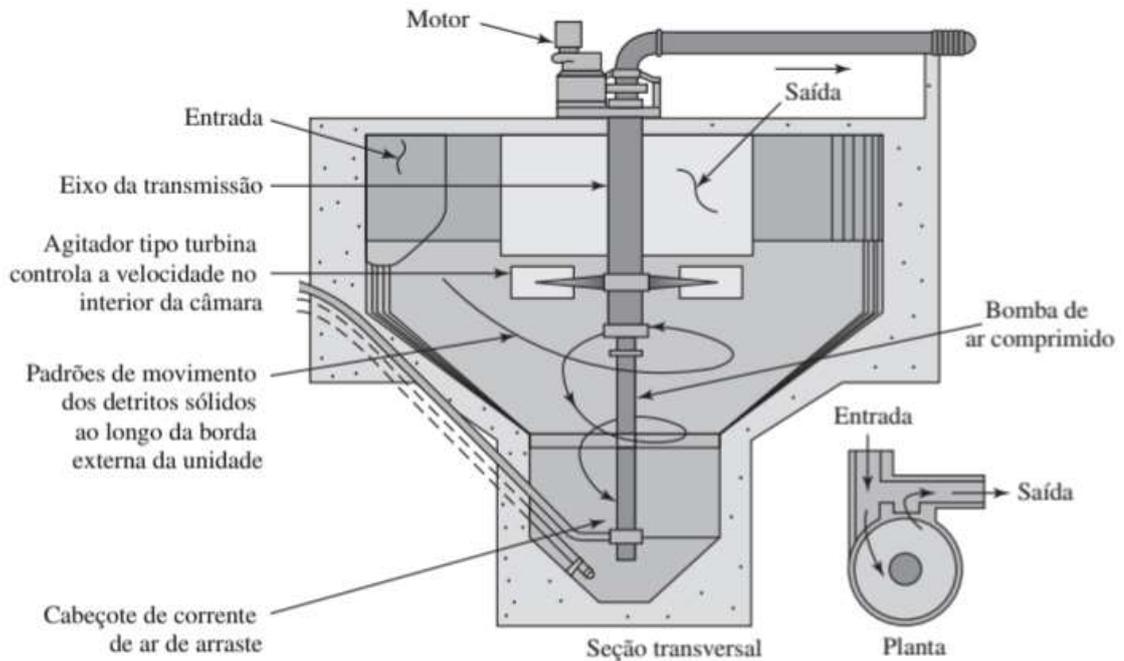
Segundo Metcalf & Eddy (2016), esse tipo de caixa pode ser de três tipos, vórtices induzidos mecanicamente, vórtices induzidos hidraulicamente e separadores vórtice com bandejas múltiplas, porém, os diferentes tipos têm basicamente as mesmas características, onde o esgoto entra tangencialmente no cilindro executando movimento em espiral, fazendo com que a areia sedimente no fundo da câmara e a matéria orgânica permaneça no sentido do fluxo até o bocal de saída do equipamento. No Quadro 4 é apresentado as vantagens e desvantagens do sistema de caixa por vórtice.

Quadro 4

Caixa por Vórtice	
Vantagens	Desvantagens
Eficiente, mesmo com grande variação da vazão	O projeto da unidade é realizado pela empresa que a comercia
Nenhuma parte mecânica submersa necessita manutenção	Alguns tipos de unidade possuem agitadores, o que pode ocasionar acúmulo de trapos em suas hélices
Requer espaço mínimo, quando comparado aos demais tipos de desarenadores	A areia retida na região de acúmulo pode compactar-se, sendo necessário a utilização de equipamentos de alta pressão para ressuspendê-la e, posteriormente, removê-la
Baixa perda de carga	
Possibilidade de se remover sólidos mais finos, da ordem de 0,11 mm, com relativa eficiência	

Fonte: Water Environment Federation (1998) *apud* Prado (2006).

Figura 8: Caixa de areia vórtice



Fonte: (Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten, 2016, 527).

Como podemos observar, temos alguns tipos de desarenadores que são utilizados nas ETEs do litoral paulista, porém ainda é necessário estudos para verificação da eficiência destes sistemas em vários períodos do ano, pois o litoral apresenta características peculiares que impactam diretamente na escolha do sistema para remoção de areia, como granulometria de areias mais finas da região, contribuição de areias de praias no sistema coletor de esgoto, grandes variações de vazões afluente em decorrência da população flutuante, principalmente em períodos de temporada, aumento de vazão e carreamento de areia para o sistema coletor em períodos de chuvas intensas.

2.4 Eficiência dos Sistemas de Desarenação

Um dos principais fatores para elaboração do projeto dos sistemas de desarenação está em se determinar a quantidade de areia que deverá ser removido pelos

desarenadores, pois a quantidade de areia que chega à ETE varia muito, seja em função do período do dia, da época do ano, das características do sistema de coleta ou mesmo da região. Assim, é preciso desenvolver métodos que possam quantificar o quanto de areia realmente chega na estação para que se possa dimensionar sistemas mais robustos e eficientes.

De uma maneira em geral, os projetos do litoral paulista consideram a remoção em média de 60 litros de areia por 1000 m³ de esgoto, seguindo os parâmetros definidos pela NBR 12.209/2011, em que é considerado a remoção de partículas com dimensões igual ou superior a 0,2 mm.

Apesar dos volumes que serão removidos pelos sistemas de desarenação serem definidos em projetos, observamos que não são realizadas medições e levantamentos de dados da quantidade de areia que entram nos sistemas implantados, portanto não se sabe a eficiência do sistema de desarenação e quanto esse volume estimado representa em relação ao volume total que está chegando na ETE.

Contudo, o volume de areia a ser retida pelos desarenadores está condicionada a sua granulometria, sendo assim, a princípio devemos estudar as características físicas da areia para determinarmos o diâmetro da partícula que deverá ser removido pelo sistema. Com base dos dados de granulometria da areia e determinado a dimensão da partícula que será removida, podemos avançar no sentido de se determinar a quantidade efetiva de areia que entra na ETE, e assim, definir o volume que será removido pelo sistema de desarenação. Ainda assim, é preciso que o sistema de desarenação seja flexível, e que permita a realização de medições na entrada e saída das caixas de areias, para que seja possível a realização de ajustes para controle de vazões para os diversos períodos do ano, afim de se atender os parâmetros definidos em projeto e manter a eficiência do sistema.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como podemos observar, nos projetos são estimados volumes de areia a serem removidos com granulometria igual ou maior que 0,2 mm, porém, no litoral paulista

temos um percentual considerável de areia com partículas menores que os definidos em projetos, ainda assim, cabe reforçar que não temos dados e estudos que apresentem métodos para determinação das quantidades de areia que realmente entram nas ETEs, ou seja, não temos estudos que possam servir de base para determinação da eficiência dos sistemas implantados.

Esses fatores fazem com que os sistemas de desarenação sejam subdimensionados e não alcancem os resultados definidos em projeto, e como consequência as ETEs sofrem com problemas causados pela areia, como desgastes precoces de equipamentos, entupimento de tubulações, depósitos de areia em canais, diminuição da capacidade de tratamento devido ao acúmulo de areia nos tanques de aeração, redução na qualidade e eficiência no tratamento biológico e aumento de custos de operação e manutenção.

Portanto, o estudo indica que os parâmetros utilizados para dimensionamento dos sistemas de desarenação não atendem as ETEs do litoral paulista e comprometem o sistema de tratamento das ETEs, assim, é preciso avançar em novas pesquisas e estudos que possam determinar as características físicas das partículas da areia e desenvolver métodos para quantificar o volume efetivamente que chega até as ETEs, assim será possível se definir parâmetros específicos para as unidades de tratamento do litoral paulista e possibilitar o dimensionamento de sistemas de desarenação adequados para região.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.209: Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de tratamento de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro. 2011.
2. BORGES, N. B. Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.
3. BORGES, N. B.; SOUZA, C. F.; BRANDÃO, J. G. S.; ROCHA, J. G. P.; MANSOLDO, A. C. A Problemática da Areia nas Estações de Tratamento de

Esgoto – Estudo de Caso: ETE da Baixada Santista. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

4. DAVIS, Mackenzie L.; MASTEN, Susan J. – Princípios de engenharia ambiental [recurso eletrônico] – 3. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2016.

5. METCALF & EDDY. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos – 5. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2016.

6. PRADO, G. S. Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2006.

7. SOUZA, C. R. G. As Células de Deriva Litorâneas e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação e Geologia Sedimentar – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997.