

**FACULDADE CAPIXABA DE NOVA VENÉCIA – MULTIVIX  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE DRENAGEM PARA  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITAÚNAS/ES**

**JÚLIO NOVENTA DALMAZIO**

**NOVA VENÉCIA - ES  
2017**

**DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE DRENAGEM PARA  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITAÚNAS/ES**

**JÚLIO NOVENTA DALMAZIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Talita Alves de Carvalho.

**NOVA VENÉCIA - ES  
2017**

# **DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE DRENAGEM PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITAÚNAS/ES**

**JÚLIO NOVENTA DALMAZIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_\_\_ de Dezembro de 2017

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Talita Alves de Carvalho / Engenheira Ambiental  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX  
Orientador

---

Titulação e nome do Prof<sup>o</sup>  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX  
Examinador

---

Titulação e nome do Prof<sup>o</sup>  
Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX  
Examinador

# **DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE DRENAGEM PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ITAÚNAS/ES**

**JÚLIO NOVENTA DALMAZIO<sup>1</sup>**

**TALITA ALVES DE CARVALHO<sup>2</sup>**

## **RESUMO**

Os resíduos gerados nos processos de Estações de Tratamento de Água (ETA) causam grande passivo ambiental quando sua disposição é feita de maneira inadequada. A água de lavagem de filtros concentra o maior volume de resíduos gerados em uma ETA, e geralmente seu lançamento é feito *in natura* nos corpos hídricos. Este trabalho objetiva apresentar o dimensionamento de um sistema de leito de drenagem para reuso da água de lavagem e desidratação do lodo da ETA Itaúnas, localizada na Vila de Itaúnas, município de Conceição da Barra/ES, levando em consideração a área disponível dentro da ETA. Esta alternativa constitui um sistema de desaguamento natural, que viabiliza o reaproveitamento da água no sistema ou seu lançamento direto em corpo receptor e propicia a destinação ambientalmente adequada do lodo desidratado, sendo constituídos de unidades de fácil operação, baixo custo de construção e manutenção quando comparado a outras alternativas, além de viabilizar a redução dos custos operacionais da ETA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo. Leito. Drenagem.

## **ABSTRACT**

The waste generated in the processes of Water Treatment Stations (ETA) causes great environmental liabilities when their disposal is made in an inadequate way. Filtration water concentrates the largest volume of waste generated in an ETA, and its release is usually done *in natura* in the water bodies. This work aims to present the design of a drainage bed system

---

<sup>1</sup>Tecnólogo em Saneamento Ambiental formado pelo Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Colatina; Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia Multivix. E-mail: [jdalmazio@hotmail.com](mailto:jdalmazio@hotmail.com)

<sup>2</sup>Professor e Orientador da Faculdade Capixaba de Nova Venécia Multivix. E-mail: [talitaengambiental@outlook.com](mailto:talitaengambiental@outlook.com)

for the reuse of the water from the ETA Itaúnas sludge washing and dewatering water, located in the town of Itaúnas, Conceição da Barra / ES, taking into account the area available within the ETA . This alternative constitutes a natural dewatering system, which allows the reuse of water in the system or its direct launch in the receiving body and provides the environmentally adequate destination of the dehydrated sludge, being constituted of units of easy operation, low cost of construction and maintenance when compared to other alternatives, in addition to enabling the reduction of ETA's operating costs.

**KEYWORDS:** Sludge. Bed. Drainage.

## **1 INTRODUÇÃO**

A população possui como uma das prioridades fundamentais o “atendimento por sistema de abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas, pela importância para atendimento às suas necessidades relacionadas à saúde e ao desenvolvimento industrial” (TSUTIYA, 2006, p. 1). Uma das formas de adequar a água para consumo são as Estações de Tratamento de Água (ETA). Tsutiya (2006, p. 10) as define como um “conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade”.

Richter (2001) salienta que o destino dado aos resíduos gerados nos processos de tratamento de uma ETA é um curso de água próximo, porém, com a crescente preocupação e regulamentação sobre a recuperação da qualidade do meio ambiente bem como sua preservação, tem-se proibido a utilização deste método de destinação final.

O lançamento indiscriminado dos efluentes domésticos e não domésticos sem tratamento nos corpos d'água podem causar vários problemas que se apresentam com mais ou menos importância conforme os efeitos adversos que podem acarretar (JORDÃO E PESSOA, 2005).

Richter (2001) define que o lodo de ETA é constituído por água e sólidos suspensos, além de reagentes químicos dos processos de tratamento. O lodo proveniente das unidades operacionais de uma ETA é considerado “resíduo sólido” de acordo com NBR 10.004/2004, não sendo permitido seu lançamento *in natura* no meio ambiente.

Quando lançados sem tratamento nos corpos d'água, os resíduos de ETA podem causar aumento da concentração de metais tóxicos no sedimento; limitação da luminosidade do meio líquido devido ao aumento da concentração de sólidos em suspensão totais, que podem limitar

totalmente o uso do manancial para dessedentação animal e consumo humano; além da presença de organismos patogênicos e compostos orgânicos nos resíduos gerados (DI BERNARDO *et al*, 2012).

Achon et al (2013) enfatiza que o lançamento dos resíduos das ETAs nos mananciais sem tratamento prévio opõe-se a legislação ambiental vigente, gerando impactos ambientais. Além disso, enfatiza a necessidade de responsabilidade ambiental das concessionárias de saneamento devido ao fato de que sua matéria-prima pode estar cada vez mais comprometida, sendo notória a adequação dos novos projetos de ETA à legislação.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhida a ETA Itaúnas, localizada no distrito de Itaúnas, município de Conceição da Barra/ES. A captação de água é subterrânea, fazendo com que a água seja de melhor qualidade e por consequência apresenta baixa geração de água de lavagem e de resíduos. Portanto, as alternativas para tratamento do lodo se tornam mais viáveis economicamente, possibilitando a recirculação do da água, a diminuição do volume captado e/ou descarte adequado em corpos hídricos.

Desta forma, o presente trabalho objetiva dimensionar uma estrutura de leitos de drenagem para o tratamento dos resíduos gerados nos processos da Estação de Tratamento de Água do distrito de Itaúnas, município de Conceição da Barra/ES.

## **2 METODOLOGIA DA PESQUISA**

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas duas visitas na ETA Itaúnas no mês de outubro/2017, que englobaram medições de área disponível, consulta aos métodos de tratamento dos operadores e registro fotográfico. Além disso, dados de qualidade de água bruta e tratada bem como relatórios e diagnósticos operacionais foram disponibilizados pela Cesan, que é a concessionária responsável pelos serviços de saneamento na localidade.

Para quantificação de resíduos e determinação do método de tratamento, foram consultados dados bibliográficos em livros físicos e artigos técnicos disponibilizados na Internet.

No dimensionamento das unidades, utilizou-se a experiência bem-sucedida com testes em escala real apresentados por Lustosa et al (2017), com adaptações.

## 2.1 Delimitação da Área de Estudo

A estação de tratamento de água do presente estudo é localizada no distrito de Itaúnas, município de Conceição da Barra/ES, onde a Companhia Espírito Santense de Saneamento – CESAN é a concessionária de abastecimento de água e esgoto (figura 1). A escolha da ETA de Itaúnas foi realizada principalmente devido ao fato da presença de área disponível dentro da estação. Além disso, soma-se o fato de que a captação de água bruta é realizada em poços artesianos, e como uma das variáveis do projeto vislumbra a possibilidade de recirculação da água de lavagem, sugere-se que sejam notórios os benefícios quanto ao seu reuso, contribuindo para a sustentabilidade dos processos.

Figura 1 – ETA Itaúnas.

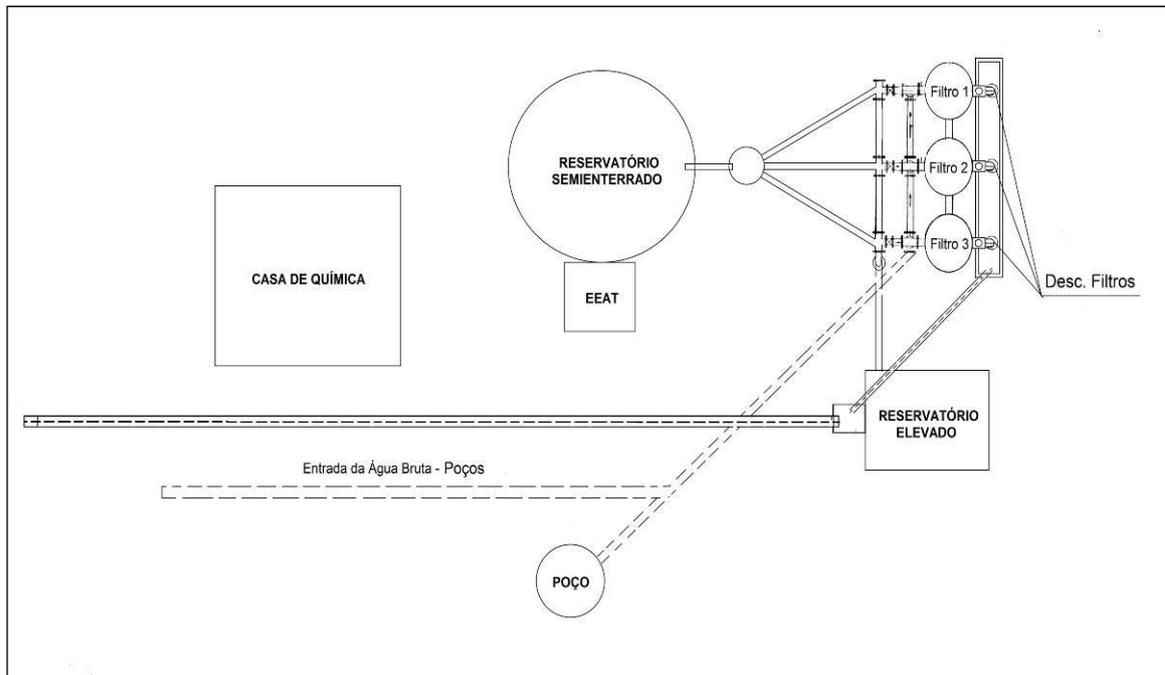


FONTE: O Autor, 2017.

De acordo com o Relatório Descritivo Preliminar ETA Itaúnas, o sistema de tratamento de água é do tipo filtração direta, composta por: aeração, filtração e reservação. No processo, não é utilizado coagulante. Outros produtos químicos utilizados são o Hipoclorito de Sódio e Ácido Fluorssilícico, com a finalidade de desinfecção e fluoretação, respectivamente. A ETA atende a aproximadamente 96,5% da população residente. A captação de água é feita em quatro poços artesianos, com vazão média de tratamento de 6,9 L/s para o ano de 2013, com tempo médio de 18 horas de operação. A estação possui três filtros, de onde são provenientes as águas de lavagem. Em média, a campanha média de filtração varia de 66,5 a 326 horas, como tempo médio de seis minutos de lavagem. A definição do momento de lavagem é a perda de carga dos filtros, e o volume de água descartado na lavagem individual das unidades é de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>. Toda água de lavagem, composta por água e lodo, é descartada

na rede de drenagem sem tratamento prévio (CESAN, 2014). A figura 2 exemplifica o croqui da ETA Itaúnas.

Figura 2 – Croqui da ETA Itaúnas.



FONTE: Relatório Descritivo Preliminar ETA Itaúnas, 2014.

## 2.2 Quantificação da Geração de Resíduos

Saron e Leite (2001) listam diversas fórmulas para quantificar empiricamente o lodo gerado nos processos de lavagem das unidades de tratamento das ETAs. Diante disso, foi percebido que não existem diferenças consideráveis entre as fórmulas apresentadas.

O trabalho adotará as fórmulas propostas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, devido ser a única Instituição Brasileira presente no levantamento realizado por Saron e Leite (2001), sendo mais próximo a realidade do estado do Espírito Santo. As fórmulas contam nas Equações 1 e 2 a seguir:

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$W = 86400 \times P \times Q \quad (2)$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada ( $m^3/s$ )

O Relatório Descritivo Preliminar da ETA Itaúnas apresenta informações referentes à turbidez média, máxima e mínima de água bruta para o ano de 2013, sendo 0,35 UT, 2,32 UT e 0,075 UT, respectivamente, necessários para cálculo da produção de sólidos e quantificação de sólidos secos (CESAN, 2014).

### **2.3 Dimensionamento do Sistema Proposto**

Este trabalho apresenta o dimensionamento das seguintes unidades: caixa de distribuição de água de lavagem; tubulação de entrada; leitos de drenagem; tubulação de saída e caixas coletoras de água clarificada. As demais tubulações e Estação Elevatória de Água Clarificada foram representadas apenas como forma de indicação, sem dimensionamento. Para o desenho das plantas, foi empregado o software AutoCAD<sup>®</sup>.

Em geral, os processos de desaguamento de lodo de ETAs reportados em literatura trazem como premissas básicas o adensamento do lodo, a recirculação da água clarificada, o desaguamento e a destinação final dos sólidos obtidos. No caso da ETA de Itaúnas, para elaboração da proposta foi acrescentado à concepção do estudo as seguintes variáveis: área disponível dentro da ETA; viabilidade econômica; facilidade de operação e manutenção.

Conforme proposto por Andreoli (2001), para dimensionar o projeto do leito de drenagem foram considerados os seguintes fatores: à distância da ETA aos leitos; cotas relativas da área da ETA e do leito; acesso; disponibilidade de energia e a tubulação com dimensionamento de forma a não ocorrer o acúmulo de sedimentos.

Para determinar as especificações de projeto, foi considerado a NBR 12.209/1992 – Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário, no que tange ao leito de secagem. Além disso, a experiência relatada por Lustosa et al (2017) quanto aos testes em escala real para implantação de leito de drenagem também serviu de referência neste trabalho, com adaptações conforme avaliação da área em visita de campo.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Legislação

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei 12.305/2010) possui como princípios relevantes a este trabalho, de acordo com seu Artigo 6º, a prevenção e a precaução; e o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Esta Política traz como objetivos em seu Artigo 7: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; e a gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O Artigo 13 desta PNRS informa que os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico possuem classificação própria, nos termos desta lei (BRASIL, 2010).

Segundo a NBR 10.004 (2004, p. 1):

Resíduos sólidos são resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Para melhor acondicionamento e destinação destes resíduos, a referida norma os classifica em três grupos distintos: o primeiro classificado como Classe I ou Perigosos, são os que podem oferecer um risco eminente de morte ou morbidade a população; o segundo classificado como Classe II ou Não Inertes refere-se aqueles que não se enquadram nos grupos I e III; e o terceiro classificado como Classe III ou Inertes, englobam os que “não se decompõem prontamente, quando em contato estático ou dinâmico com água. Podem ser: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas [...]” (PHILIPPI Jr *et al*, 2005, p. 324).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) determina que o lançamento em corpos d'água de resíduos líquidos para fins de diluição, transporte ou destinação final, está sujeito a outorga de uso de recursos hídricos (BRASIL, 1997). A Lei de Crimes Ambientais 9.605/1998, em seu Artigo 54, considera como crime o lançamento de resíduos sólidos e líquidos em desconformidade com as exigências estabelecidas por leis e/ou regulamentos (BRASIL, 1998).

A Resolução CONAMA 237/1997 define que estações de tratamento de água são serviços de utilidade pública, portanto, são passíveis de licenciamento ambiental (BRASIL, 1997). Além disso, a Resolução CONAMA 357/2005 regula o lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos, estabelecendo padrões de acordo com a classificação de cada manancial (BRASIL, 2005).

### **3.2 Resíduos de Estações de Tratamento de Água**

O tratamento de água no Brasil é realizado em sua maioria por sistemas onde a água bruta passa por tratamento completo na ETA, de acordo com as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação/flotação, filtração e desinfecção. A este tipo de sistema dá-se o nome de “convencional”. Além disso, acrescenta-se ao processo a etapa de correção de pH e fluoretação (IBGE, 2011).

Di Bernardo e Paz (2008) acentuam que resíduos oriundos de uma ETA de ciclo completo são originados através da limpeza dos decantadores/flotadores e pela lavagem dos filtros. O maior volume de resíduo gerado resíduo é proveniente da lavagem dos filtros, enquanto a maior massa é gerada nos decantadores.

Richter (2001, p. 2) informa que

Considera-se como lodo de uma estação de tratamento o resíduo constituído de água e sólidos suspensos originalmente contidos na fonte de água, acrescido de produtos resultantes de reagentes aplicados à água nos processos de tratamento.

Vários são os fatores que influenciam na quantidade e qualidade dos resíduos gerados em ETAs. Di Bernardo e Paz (2008) listam os seguintes: qualidade de água bruta; tecnologia empregada no tratamento; características da coagulação, tipo e dosagem de coagulante, alcalinizante e acidificante; técnica de lavagem dos filtros; habilidade dos operadores; entre outros.

Segundo AWWA (1999, apud CAMPOS, 2015, p. 17), para ETAs de ciclo completo “[...] o volume de água de lavagem dos filtros pode variar entre 1 e 5% do volume tratado diariamente com concentração de SST, geralmente compreendida entre 200 e 600 mg/L”. Di Bernardo e Paz (2008) citam uma concentração de SST variam de 100 a 600 mg/L.

O lodo de ETA geralmente representa de 0,2% a 5,0% do volume de água tratada. Entre 60% e 95% do lodo gerado na ETAs é acumulado nos decantadores e o restante nos filtros,

dependendo da eficiência do processo de tratamento, do tipo e dosagem do coagulante e das características físico-químicas da água bruta (RICHTER, 2001).

### **3.3 Leitos de Drenagem**

Os sistemas mecânicos para desaguamento de lodo muitas vezes necessitam de alto custo para implantação, operação e manutenção. Já a remoção de água em sistemas naturais não necessita de grandes investimentos para implantação, tampouco para operação e manutenção, porém necessita de grandes áreas (ACHON et al, 2008).

O Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (2015) define “leito de secagem” como unidades de tratamento que recebem lodos onde se processa a redução da umidade através da drenagem e da evaporação da água liberada no período de secagem.

Em sistemas tradicionais, tem-se uma estrutura padrão formada por cama de suporte, meio filtrante e sistema drenante, onde o meio filtrante é composto por areia de granulometria específica, sustentada sobre uma camada suporte de brita. A água livre deve ser removida em menor tempo possível de forma a possibilitar seu reuso, assim, as condições de drenagem e climáticas corroboram em conjunto para a eficiência do processo (ANDREOLI, 2001).

Cordeiro (1993, 2000 apud ANDREOLI, 2001) realizou alguns estudos de forma a modificar a estrutura dos leitos, observando que o emprego de manta geotêxtil sobre a camada filtrante do leito permitiu uma remoção mais efetiva da água livre presente nos lodos. Nos estudos, ficou evidenciado que a areia e a espessura da camada filtrante não eram decisivas na remoção de água livre. Com a evolução dos estudos, chegou-se a uma proposta onde o leito foi constituído por brita e manta geotêxtil, além da remoção por completo da areia. Assim, foi percebida uma redução considerável do tempo de drenagem a água livre em comparação com o método tradicional.

Devido a sua resposta positiva a drenagem, convencionou-se a chamar o novo modelo de “leito de drenagem” (ANDREOLI, 2001).

Lustosa et al (2017) lista algumas vantagens da utilização deste tipo de sistema, como: maior eficiência na drenagem de água livre, redução dos custos de execução da obra, facilidade de operação e possibilidade de recirculação da água drenada.

Alguns testes são dignos de menção quando relacionados à aplicabilidade de leitos de drenagem para tratamento de água de lavagem nas variadas configurações de estações de tratamento de água.

Santos et al (2014) realizou testes em escala reduzida de um leito de drenagem para águas de lavagem da ETA Bom Jardim, do tipo convencional com ciclo completo, no município de Uberlândia/MG, sendo avaliados as etapas de drenagem e secagem do lodo, com ensaios contemplando a investigação de interferências climáticas através de unidades com e sem envoltório. Foram observados turbidez muito baixos, inferiores a 10 UNT, independente da Taxa de Aplicação de Sólidos - TAS. Porém, quanto maior a TAS, maior a espessura da camada de lodo ao fim do processo de drenagem. Também foi observado que o teor de sólidos foi superior em 50% no sistema com exposição aos agentes climáticos.

Silveira (2012) desenvolveu experimentos nas ETAs Cafezal e Tibagi, no município de Londrina/PR, ambas do tipo convencional com ciclo completo, sob diferentes situações de condições climáticas. Os resultados demonstraram eficiência no processo de drenagem, possibilitando um drenado com qualidade compatível com corpos de água doce, classe I e II, segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005. No que se refere a secagem, foi observado um resultado positivo quanto ao teor de sólidos, mesmo sob condições críticas (exposição na estação inverno sem proteção as intempéries), com valores de sólidos próximos aos obtidos por desaguamento mecânico.

Lustosa et al (2017) realizou a pesquisa através da implantação de um sistema de reuso de água de lavagem de filtros com sistema de desidratação do lodo de métodos construtivos simplificados na ETA Colméia, município de Colmeia/TO. A solução desenvolvida permitiu aproveitamento de mais de 75% da água de lavagem das unidades, além da produção de lodo com elevado teor de sólidos, redução de custos operacionais e desaguamento de maneira mais rápida e eficiente.

Achon et al (2008) realizou estudos para ETAs que utilizam diferentes coagulantes em seus processos, no caso Sulfato de Alumínio e Cloreto de Polialumínio, com protótipos reduzidos dos leitos de drenagem. O desaguamento ocorreu de forma eficiente para ambos os casos, de forma natural, sem consumo de energia ou adição de produtos químicos. Os autores ainda ressaltam que “(...) as características dos leitos de drenagem desenvolvida por Cordeiro

(2001) atenua a colmatação e facilita sobremaneira a drenagem, ao contrário do que observa-se em outros sistemas naturais de redução de volume de lodo de ETA (...)'.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estimativa de Geração de Resíduos

O valor utilizado para turbidez no cálculo será a média máxima anual, de 2,32 UT. A vazão será de 6,9 L/s (0,0069 m<sup>3</sup>/s). O valor utilizado para o coagulante será zero por não se fazer necessário sua utilização no tratamento em questão. O valor de 86.400 segundos da Equação 2 será substituído por 64.800 segundos, devido a operação da ETA ser de 18 horas.

Assim, para a Equação 1 temos:

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$P = (0,23 \times 0 + 1,5 \times 2,32) \times 10^{-3}$$

$$P = 0,00348 \text{ kg/m}^3$$

Para a Equação 2:

$$W = 86400 \times P \times Q \quad (4)$$

$$W = 64800 \times 0,00348 \times 0,0069$$

$$W = 1,55 \text{ kg/dia}$$

Desta forma, para uma produção de sólidos de 0,000348 kg/m<sup>3</sup>, temos uma geração diária de 1,55 kg/dia.

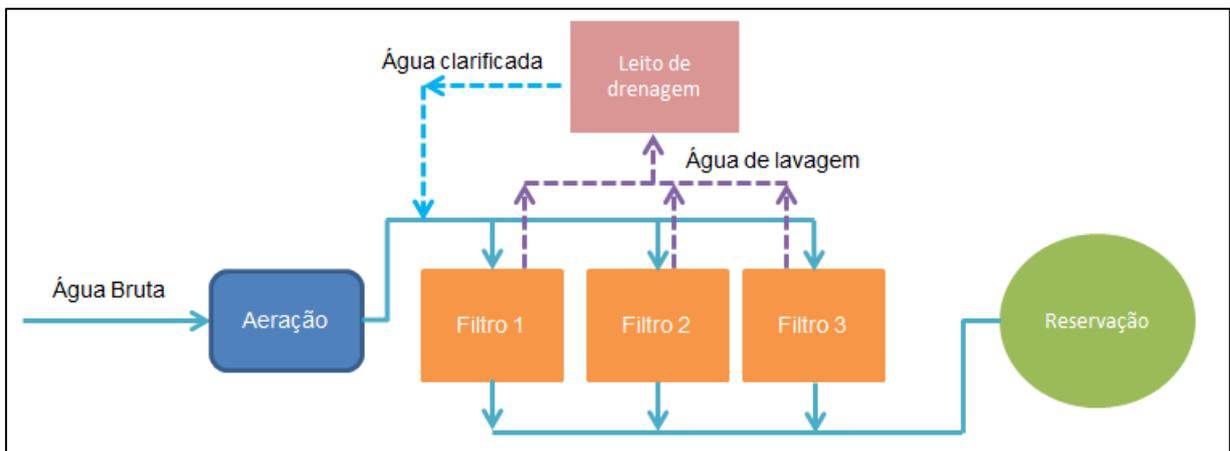
### 4.2 Dimensionamento das Unidades para Tratamento dos Resíduos Líquidos Gerados

Inicialmente a proposta compreendia a experiência de testes em escala real proposta por Lustosa et al (2017) com a instalação de Tanque de Sedimentação da Água de Lavagem de Filtro (TSALF) seguido de leito de drenagem, onde obtiveram êxito na sua aplicação. Porém, após a verificação da baixa geração de sólidos no processo de tratamento de água da ETA Itaúnas somado ao fato de que não é utilizado coagulante no tratamento, optou-se por adaptar o modelo proposto por Lustosa et al (2017), considerando apenas a construção de leito de

drenagem, visto que o tanque de sedimentação é aconselhável quando a geração de sólidos é expressiva. Desta forma, a proposta atenderá as variáveis de área disponível dentro da ETA, viabilidade econômica, facilidade de operação e manutenção.

Não existem normativas para o dimensionamento de leitos de secagem para lodo de ETA, sendo realizado estimativas de área necessária tomando por base o volume descartado e a altura do lodo a ser mantido na estrutura (RICHTER, 2001). Seguindo esta premissa, a figura 2 abaixo apresenta o fluxograma da proposta de configuração da ETA Itaúnas com o uso do método de secagem natural por meio de leitos de drenagem para tratamento de água de lavagem de filtros.

Figura 2 – Fluxograma da ETA Itaúnas com proposta de tratamento de resíduos



FONTE: O Autor, 2017.

#### 4.2.1 Volume de resíduos líquidos

O volume de água de lavagem considerado foi de 20 m<sup>3</sup>, sendo que a lavagem é realizada apenas em uma unidade filtrante por vez de acordo com a campanha média de filtração, que varia de 66,5 a 326 horas, conforme apresentado no Relatório Descritivo Preliminar ETA Itaúnas (CESAN, 2014). De acordo com a equipe de operação da ETA, não são realizadas lavagens concomitantes das unidades, sendo este um fator positivo, pois permite o dimensionamento de unidades de leito de drenagem que suportem apenas o volume de lavagem, com um acréscimo de segurança.

#### 4.2.2 Leito de Drenagem

O leito deverá comportar o volume de 20 m<sup>3</sup> na ocasião da lavagem dos filtros. Considerando a desidratação adequada do lodo, a proposta consistirá em duas câmaras (A e B) com capacidade útil de 24,6 m<sup>3</sup> cada. Desta forma, poderá ser utilizado um leito para recepção da água de lavagem enquanto o outro segue no processo de desidratação. A profundidade do leito será de no máximo 1 metro. Como a inclinação de fundo adotada foi de 2% para condução do drenado a calha central, as laterais apresentam altura de 96 cm enquanto o centro, 1 m. O volume de 20 m<sup>3</sup> de água de lavagem irá ocupar uma altura de 66 cm acima da camada drenante. A altura livre acima da desta camada e a inclinação de fundo respeitam os limites estabelecidos pela NBR 12.209/1992. Todo o leito de drenagem foi dimensionado com revestimento de Polietileno de Alta Densidade – PEAD, com 2 mm de espessura.

A manta geotêxtil utilizado neste dimensionamento seguiu o adotado por Lustosa et al (2017), sendo o MACDRAIN 2L<sup>®</sup> na espessura de 2 cm, com capacidade de drenagem de 0,65 L/s x m, possuindo alta capacidade de percolação. Neste caso, o fator limitante para a drenagem é a areia grossa. Para este trabalho será utilizado um valor de capacidade de percolação para areia grossa de 120 L/m<sup>2</sup>xd, assim como o adotado por Lustosa et al (2017), tomando por base a capacidade superior a 90 L/m<sup>2</sup>xd preconizado na NBR 7.229/1993 para este material.

O volume total de percolação diário que o sistema suportará na ETA Itaúnas será determinado a partir da área de fundo do leito de drenagem pela capacidade de percolação da areia grossa (LUSTOSA et al, 2017), sendo admitido 3.600 Litros/dia de volume percolado (7,5m x 4m x 120 L/m<sup>2</sup>xd = 3600 L/d).

Considerando o lançamento de 20 m<sup>3</sup> de água de lavagem no leito e a capacidade de percolação supracitada, tem-se um leito gastaria aproximadamente 5,5 dias com a drenagem. Como as lavagens podem ocorrer antes deste período, um método operacional adotado deve ser o lançamento da água de lavagem no leito A durante 15 dias, após, o lançamento será feito durante 15 dias no leito B, enquanto ocorre a desidratação do lodo de maneira eficiente no leito A. Com a secagem do lodo no leito A, o excesso será retirado de forma manual, acondicionado em bombonas e transportados para caçambas de resíduos localizada na Estação de Tratamento de Esgoto de Itaúnas para destinação final em aterro sanitário licenciado. A proposta operacional descrita foi baseada nas observações durante a visita *in loco*.

A caixa de distribuição contará com comporta de fibra para vedação da entrada dos tubos e direcionamento do lodo ao leito desejado. A calha de drenagem possui um tubo dreno DN 100 perfurado, revestido pela manta geotêxtil na espessura de 2 cm, com inclinação de 2% para condução do drenado até a tubulação de saída. As tubulações de entrada e saída foram dimensionadas com DN 150 e possuem dispositivos que permitem sua desobstrução, conforme preconizado na NBR 12.209/1992. Para proteção, a superfície do entorno do leito será protegida por blocos de concreto tipo “meio fio”.

A caixa de distribuição, caixa de passagem e caixas coletoras foram dimensionadas com blocos de concreto estrutural (14x19x39 cm), com reboco de 2,5 cm em ambos os lados e laje de fundo em concreto com 7 cm de espessura.

A tubulação da que liga a caixa de distribuição a caixa de passagem do leito B deve possuir inclinação mínima de 1 cm por metro, e esta última deve acrescentar 4 cm em profundidade. Faz-se importante mencionar que para o escoamento adequado da água de lavagem dos filtros até a caixa de distribuição, a tubulação deverá ser superficial para que seja possível a admissão de inclinação mínima necessária ao transporte por gravidade. Estas tubulações não foram objetos de dimensionamento neste trabalho.

Os apêndices A, B e C apresentam os projetos de dimensionamento dos leitos de drenagem. Os cortes A-A e B-B se referem ao leito A. O apêndice D trás uma sugestão de encaminhamento das tubulações da saída dos filtros até a caixa de distribuição (água de lavagem dos filtros) e das caixas coletoras até um possível ponto de instalação da Estação Elevatória de Água Clarificada (EEAC), que conduz o drenado até o início do tratamento.

### 4.3 Quantitativo de Materiais

A tabela 1 abaixo reúne informações sobre estimativas de materiais necessários para construção dos leitos de drenagem conforme proposto.

Tabela 1 – Estimativa de materiais para construção de duas unidades de leito de drenagem

ITEM	MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE
1	AREIA GROSSA (MEIO FILTRANTE)	m <sup>3</sup>	10*
2	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	litros	273*
3	BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL (14x19x39 cm)	unidade	263*
4	BLOCO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO TIPO MEIO FIO (80x30x23 cm)	unidade	69*
5	COBOGÓ	unidade	337*
6	COMPORTA DE FIBRA (30x2x50cm)	unidade	2

7	CONCRETO	m <sup>3</sup>	0,15*
8	MANTA GEOTÊXTIL	m <sup>2</sup>	71,5*
9	MANTA PEAD 2mm	m <sup>2</sup>	135*
10	REBOCO	m <sup>3</sup>	1*
11	TAMPA DE FERRO FUNDIDO (60x60x5 cm)	unidade	1
12	TAMPA DE FERRO FUNDIDO (90x90x5 cm)	unidade	3
13	TUBO PVC CORRUGADO DN 100 PERFURADO	m	8
14	TUBO PVC DN 150	m	9

\*A quantidade inclui o acréscimo de 10% para margem de segurança, com valores arredondados.  
Fonte: O Autor, 2017.

## 5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sustentabilidade nos processos produtivos tem sido amplamente debatida atualmente como forma de garantir a preservação e conservação do meio ambiente.

Conclui-se que o presente trabalho, através do dimensionamento de uma unidade para o tratamento de resíduos oriundos dos processos da ETA Itaúnas, teve como resultado apresentar uma proposta para aperfeiçoar os processos de tratamento de água. Além de possibilitar a secagem e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos provenientes do lodo de lavagem das unidades, leitos de drenagem são versáteis, pois permitem que a água drenada seja recirculada ao início do tratamento, diminuindo assim a captação de água e/ou viabilizando seu reaproveitamento no sistema, como também confere ao drenado parâmetros em consonância com a legislação ambiental vigente para lançamento direto em corpos hídricos, caso assim seja definido seu encaminhamento.

Logo, métodos de secagem natural de lodo são opções que possibilitam fácil operação, baixo custos de construção e manutenção. Com a recirculação do drenado, também é possível propiciar redução nos custos operacionais da ETA.

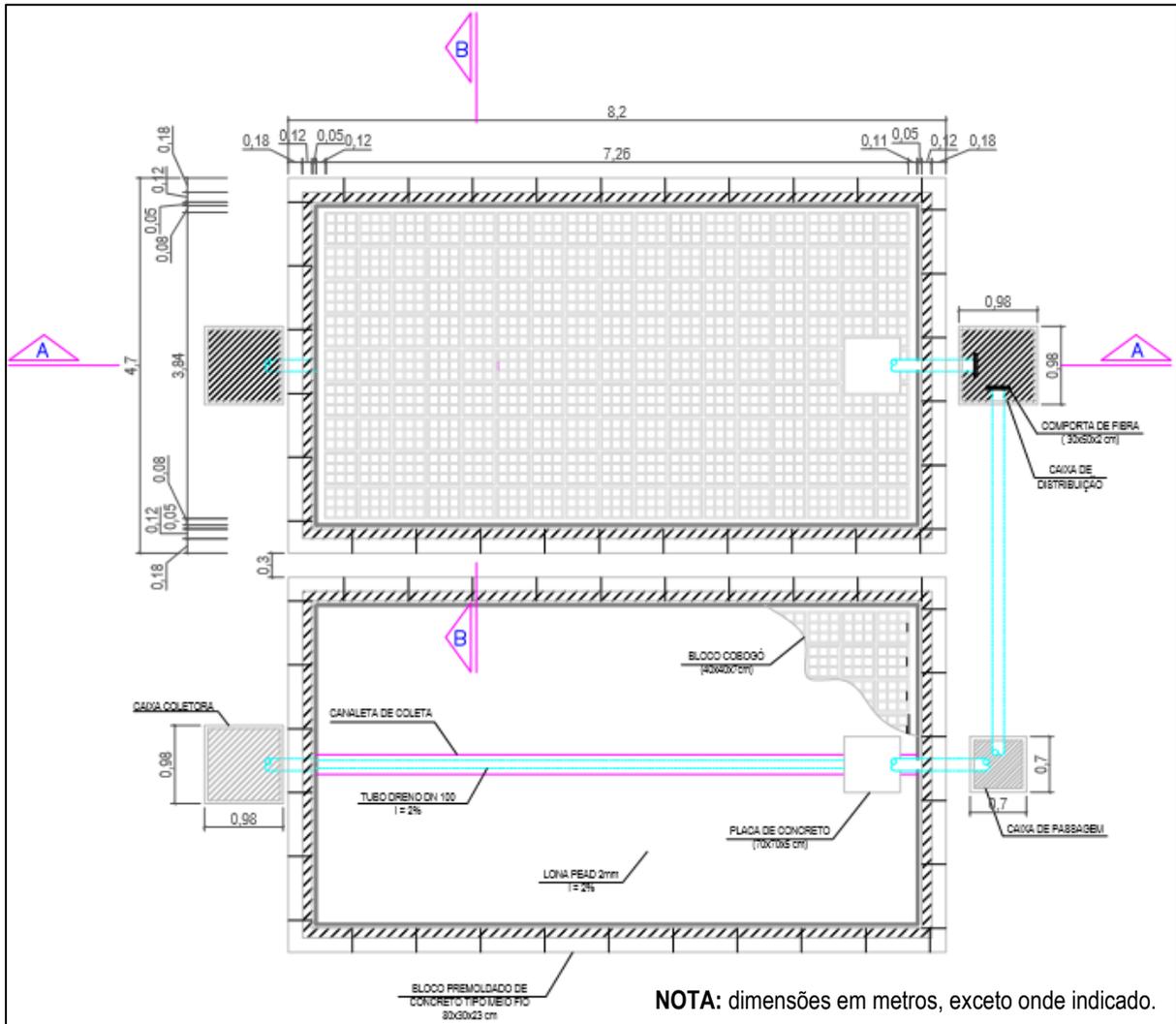
As tecnologias e processos empregados para realização do tratamento de água podem apresentar diferenças quando relacionados à qualidade da água bruta, o que interfere diretamente nas características quantitativas e qualitativas do lodo. Desta forma, é recomendável a realização de estudos adicionais que levem em consideração o uso de amostras de lodo coletados *in loco* para determinação do volume de resíduo seco a ser gerado, em paralelo com os métodos empíricos como o utilizado neste trabalho. Além disso, se torna conveniente a análise microbiológica da água drenada para recirculação no sistema, para garantia dos padrões de potabilidade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

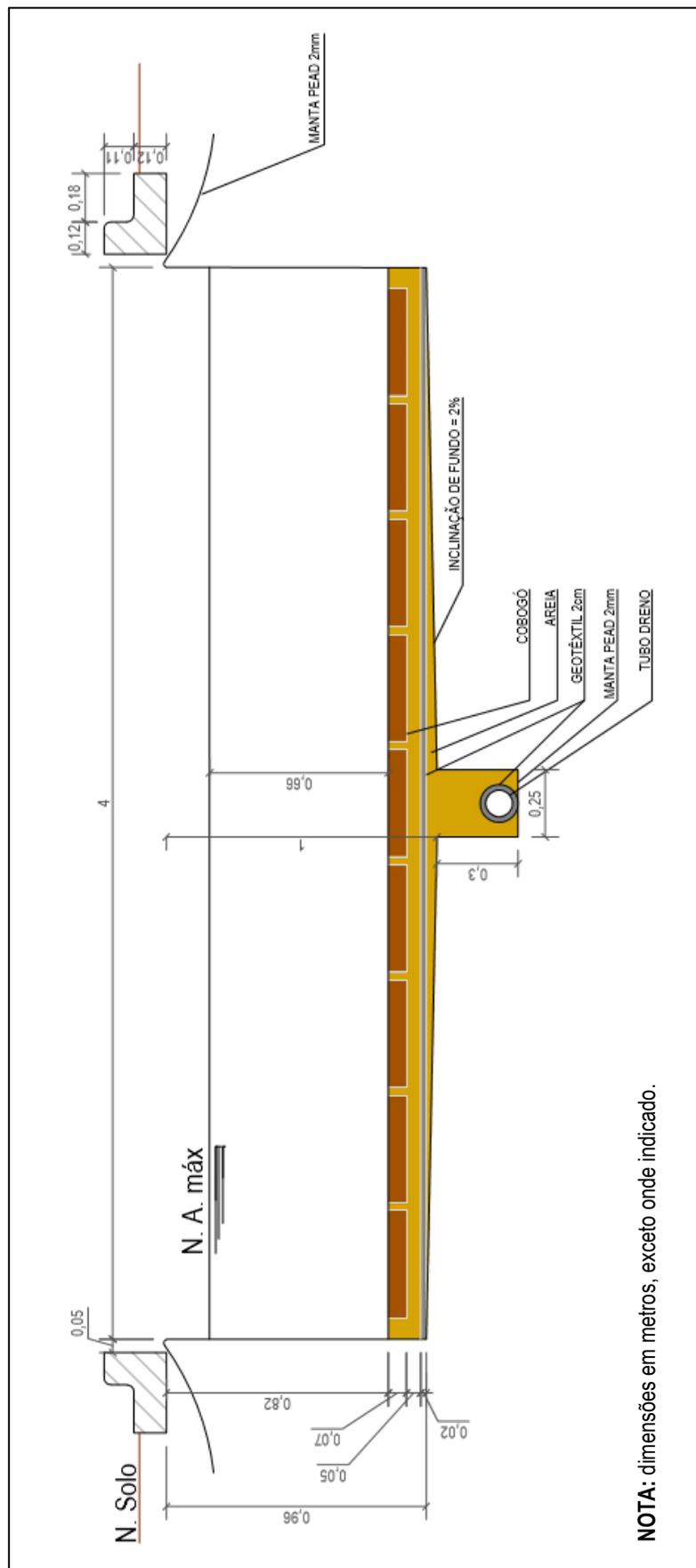
- 1 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10.004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, mai. 2004.
- 2 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12.209**: projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, abr. 1992.
- 3 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, set. 1993.
- 4 ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n1/a08v13n1.pdf>>. Acesso em: 01 novembro 2017.
- 5 ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, vol. 13, n.1, jan./mar. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n1/a08v13n1.pdf>>. Acesso em: 05 novembro 2017.
- 6 ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. Projeto PROSAB.
- 7 BRASIL. Lei N° 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 03 de ago. 2010. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- 8 BRASIL. Lei N° 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 09 ago. 1997. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- 9 BRASIL. Lei N° 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 fev. 1998. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- 10 BRASIL. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015.
- 11 CAMPOS, H. L. **Caracterização de água de lavagem de filtros em estações de tratamento de água de filtração direta**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- 12 CESAN. **Relatório Descritivo Preliminar da ETA Itaúnas**. Vitória: 2014.
- 13 CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (BrasiI). Resolução n° 237, de 19 de dezembro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 dez. 2005. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2017.

- 14 CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (BrasiI). Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.in.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- 15 DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2012.
- 16 DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe, 2008.
- 17 IBGE. **Atlas de Saneamento**. Rio de Janeiro, 2011.
- 18 JORDÃO, E. P; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. SEGRAC: Rio de Janeiro, 2005.
- 19 LUSTOSA, J. B.; BRACARENSE, D. C.; CASTRO, F. M. S.; SILVA, S. C. B. Q.; SILVA, G. G. Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. **Revista Dae**, São Paulo, v. 65, n. 206, mai./ago. 2017. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_206\\_n\\_1671.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_206_n_1671.pdf)>. Acesso em: 01 setembro 2017.
- 20 PHILIPPI JR., A. (Org). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para o desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2005, p. 267-322.
- 21 RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2001.
- 22 SANTOS, B.; OLIVEIRA, A. L.; SALLA, M. R.; ALAMY FILHO, J. E.; PEREIRA, C. E. Avaliação de sistema de leito de drenagem no desaguamento do lodo de estação de tratamento de água com ênfase na influência dos agentes externos na fase de secagem. **Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v. 23, n. 1, jan./jun. 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/24842/15453>>. Acesso em: 13 novembro 2017.
- 23 SARON, A.; LEITE, V. M. B. Quantificação de lodo em estação de tratamento de água. In: 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: Abes, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-075.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2017.
- 24 SILVEIRA, C. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- 25 TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

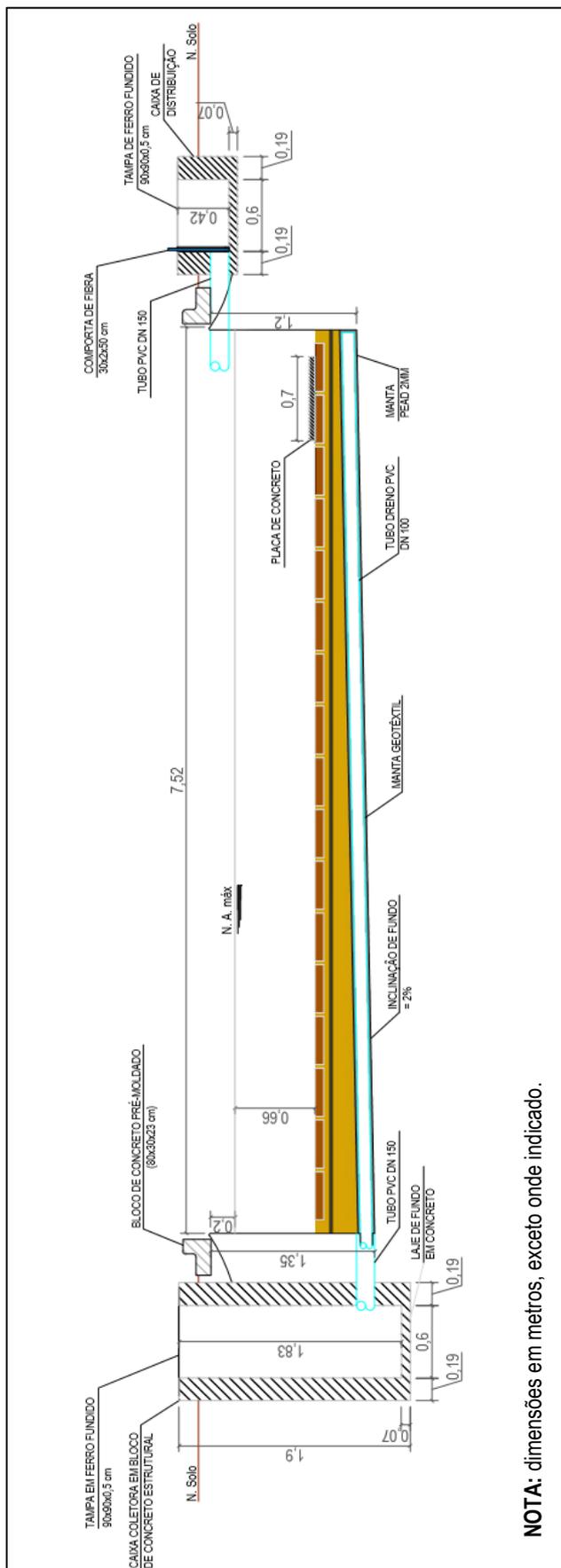
## APÊNDICE A – Planta Baixa do Leito de Drenagem



## APÊNDICE B – Corte Transversal (B-B) do Leito de Drenagem



APÊNDICE C – Corte Longitudinal (A-A) do Leito de Drenagem



**NOTA:** dimensões em metros, exceto onde indicado.

APÊNDICE D – Croqui com sugestão de encaminhamento das tubulações de água de lavagem de filtros e água clarificada, juntamente com EEAC

