



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Elisa Resende Alvim da Silva

**AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS
DA ETA LARANJAL / RJ**

Rio de Janeiro
2015



UFRJ

Elisa Resende Alvim da Silva

AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS
DA ETA LARANJAL / RJ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Iene Christie Figueiredo

Rio de Janeiro,
2015

Silva, Elisa Resende Alvim da. S..

Título: Avaliação estratégica para a recuperação das águas residuais da ETA Laranjal / RJ / Elisa Resende Alvim da Silva. – 2015.

143 f.: il. 61

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2015.

Orientador: Iene Christie Figueiredo.

1. Lodo de ETA. 2. Tratamento de Resíduos. 3. Tratamento de Água. 4. Reúso. I.Christie F., Iene. II.Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Avaliação estratégica para a recuperação das águas residuais da ETA Laranjal / RJ.



UFRJ

AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS
DA ETA LARANJAL / RJ

Elisa Resende Alvim da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Profa. Iene Christie Figueiredo, D.Sc., UFRJ (orientadora)

Profa. Fabiana Valéria da Fonseca, D.Sc., UFRJ

Prof. Isaac Volschan Junior, D.Sc., UFRJ

Prof. Jaime Lopes da Mota Oliveira, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro

2015

“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.”

Fernando Pessoa

DEDICATÓRIA

A minha mãe (*in memoriam*) e ao meu pai por me ensinarem a nunca parar de estudar, pois o conhecimento é um bem inesgotável e valioso.

Ao meu marido pela nossa união repleta de amor e companheirismo sempre.

A minha irmã.

Que o meu exemplo lhe incentive.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido, Juan Bernardo F. Medeiros Silva, pela paciência e compreensão de tantos momentos ausentes e ainda por cuidar de mim.

A minha orientadora, professora Iene Christie Figueiredo, pelos ensinamentos transmitidos e por me passar tranquilidade com seu bom humor principalmente na reta final do trabalho. Que se lembre das longas revisões que fizemos juntamente com o insistente pássaro cantor em sua janela.

Aos professores do PEA/UFRJ que, com o dom de ensinar, estimulam seus alunos a aprofundarem-se no mundo da pesquisa científica.

Ao meu gerente e colega de trabalho na DG/CEDAE, eng. Viriatus de Albuquerque, que me apoiou e também me orientou com suas brilhantes ideias, além de compreender minha ausência em alguns momentos no desenvolvimento deste trabalho.

Ao eng. Jorge Luiz Ferreira Briard que, como diretor da DG/CEDAE, não hesitou em dar autorização para minha entrada neste mestrado, com uma visão ampla que este trabalho renderá frutos para a nossa companhia.

A todos da CEDAE envolvidos direta ou indiretamente nesta pesquisa, mas que me proporcionaram executá-la esplendidamente, apesar de algumas dificuldades. Meus sinceros agradecimentos em especial àqueles que colocaram a “mão na massa” junto comigo e por mim, que foram: a equipe de operadores de tratamento de água da ETA Laranjal sempre prestativos durante as campanhas de coleta de amostras, aos gestores da ETA Laranjal por sua atenção no fornecimento de informações, às equipes dos laboratórios da CEDAE (GCQ e GTE) por analisarem as amostras e pela explicação técnica.

Enfim, agradeço a toda minha imensa família e amigos pela incessante torcida durante a construção deste trabalho.

RESUMO

SILVA, Elisa Resende Alvim da. S.. **Avaliação estratégica para a recuperação das águas residuais da ETA Laranjal / RJ.** Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

No panorama atual, diante da crescente demanda de água para abastecimento público associada à crise hidroenergética, torna-se emergente o adequado gerenciamento do setor de saneamento. No caso específico de ETAs, a gestão de seus resíduos permite o aumento da produção de água tratada quando recirculados nesse processo, além de minimizar a poluição hídrica historicamente causada pela operação dessas unidades de tratamento. Este trabalho foi desenvolvido na ETA Laranjal, responsável por produzir água tratada para cerca de 1.500.000 habitantes (7,0 m³/s) da região metropolitana do Rio de Janeiro. A unidade avaliada (ETA n° 1) realiza o tratamento convencional sob vazão nominal de 3,0 m³/s. Como objetivo o trabalho buscou caracterizar quantitativa e qualitativamente os resíduos produzidos nas operações de descarga diária (ADD) e lavagem mensal (ARLD) dos decantadores e de lavagem dos filtros (ARLF). Além disso, avaliaram-se as alternativas de reúso destes segundo diferentes rotas de manejo propostas no âmbito deste trabalho. Como principais resultados da caracterização destacam-se: **(a)** vazões médias: 939,26 m³/d (ADD); 502,11 m³/d (ARLD); 3.445,28 m³/d (ARLF); **(b)** concentrações médias de DBO: 50 mg/L (ADD); 117 mg/L (ARLD); 11 mg/L (ARLF); **(c)** concentrações médias de SST: 2.077 mg/L (ADD); 8.556 mg/L (ARLD); 166 mg/L (ARLF); **(d)** teor de sólidos: 0,20% (ADD); 0,85% (ARLD); 0,02% (ARLF). A perda física atual decorrente destes efluentes produzidos é de 1,86% em relação a adução de água bruta. A produção diária média de sólidos é de 6.829,05 kg. Na avaliação da melhor alternativa de manejo destes resíduos, realizada com auxílio do balanço de massa, destacam-se os resultados obtidos pela rota D (resíduos das ADD e ARLD encaminhados ao adensador seguido de centrifuga, com seus sobrenadantes mesclados com ARLF e recirculados para a entrada da ETA): diminuição da perda física para 0,0109% e um incremento na produção de água tratada de 4.857,67 m³/d, equivalente ao abastecimento de 19.193 hab/dia, sem que haja aumento de adução.

Palavras-chave: Lodo de ETA, Tratamento de Resíduos, Tratamento de Água, Reúso

ABSTRACT

SILVA, Elisa Resende Alvim da. S.. **Strategic evaluation for the recovery of the wastewater at WTP Laranjal / RJ**, Rio de Janeiro, 2015. Thesis (MS) – Environmental Engineering Program, Polytechnic School and School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Nowadays, due to the increasing demand for water for public supply, allied to the current hydropower crisis, a proper management of the sanitation sector becomes emergent. In the specific case of WTPs, the management of residuals allows a rise in treated water production when they are recirculated in the process, besides reducing water pollution historically provoked in the operation of such treatment units. This project was developed at WTP Laranjal, in charge of providing treated water for about 1,500,000 inhabitants (7.0 m³/s) in Rio de Janeiro's metropolitan area. The plant assessed (WTP no. 1) carries out conventional treatment at a nominal flow rate of 3.0 m³/s. As this project aimed to describe, qualitatively and quantitatively, the residuals resulting from operations of daily discharge (ADD) and monthly washing (ARLD) of decanters, and of filters washing (ARLF). Furthermore, this study appraised options for their reuse following the different management tracks proposed. The main outcomes of that description are highlighted as follows: **(a)** average flow rates: 939.26 m³/d (ADD); 502.11 m³/d (ARLD); 3,445.28 m³/d (ARLF); **(b)** average BOD concentrations: 50 mg/L (ADD); 117 mg/L (ARLD); 11 mg/L (ARLF); **(c)** average TSS concentrations: 2,077 mg/L (ADD); 8,556 mg/L (ARLD); 166 mg/L (ARLF); **(d)** solids content: 0.20% (ADD); 0.85% (ARLD); 0.02% (ARLF). The current physical loss resulting from those outcomes is at 1.86% of the abstraction of raw water. The daily average production of solids is 6,829.05kg. When assessing the best option for the management of those residues, with the aid of mass balance, the results obtained from track "D" (residues from ADD and ARLD, taken to the thickener and then to the centrifuge, having their supernatants mixed with ARLF and recirculated towards the WTP entrance) are stressed as follows: a reduction of physical loss to as little as 0.0109% and an increase in treated water production of 4,857.67 m³/d, equivalent to the supply of 19,193 inhabitants per day, without leading to a rise in abstraction.

Keywords: WTP sludge, Residuals' Treatment, Water Treatment, Reuse.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 TRATAMENTO DE ÁGUA	4
3.1.1 POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	4
3.1.2 TENDÊNCIA MUNDIAL PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA.....	14
3.1.3 TENDÊNCIA BRASIL.....	20
3.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS	25
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	27
3.2.1.1 Composição dos Resíduos e seu Tratamento Típico.....	28
3.2.1.2 Quantificação dos Resíduos.....	36
3.2.1.3 Balanço de Massa em ETAs.....	42
3.2.2 IMPACTOS DOS RESÍDUOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE.....	42
3.3 ALTERNATIVAS DE MANEJO DOS RESÍDUOS	44
3.3.1 RECIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS.....	44
3.3.2 ALTERNATIVAS DE USO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	46
3.4 LEGISLAÇÃO	51
4. MATERIAIS E MÉTODOS	56
4.1 APRESENTAÇÃO DA ETA LARANJAL	56
4.1.1 APRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA Nº1 DE LARANJAL.....	60
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	63
4.2.1 DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA.....	64
4.2.2 PERÍODO E FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM.....	66
4.2.3 PARÂMETROS ANALISADOS.....	67
4.2.4 METODOLOGIA DE COLETA E DE ANÁLISE DAS AMOSTRAS.....	67
4.2.5 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA Nº1.....	70
4.2.6 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DA ETA Nº1.....	73
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA	79
5.1.1 CARACTERÍSTICA QUALITATIVA DOS RESÍDUOS.....	79
5.1.2 CARACTERÍSTICA QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS.....	84
5.1.3 POTENCIAL POLUIDOR DOS RESÍDUOS.....	88
5.2 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (RNFT ou SST)	92
5.3 MANEJO DOS RESÍDUOS DA ETA	94
5.3.1 BALANÇO DE MASSA DA SITUAÇÃO ATUAL (SEM REAPROVEITAMENTO).....	95
5.3.2 BALANÇO DE MASSA DA ROTA A.....	96
5.3.3 BALANÇO DE MASSA DA ROTA B.....	98
5.3.4 BALANÇO DE MASSA DA ROTA C.....	99
5.3.5 BALANÇO DE MASSA DA ROTA D.....	100
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	103

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
8. APÊNDICES.....	113
8.1 APÊNDICE A – MODELO DO FORMULÁRIO DE CAMPO USADO NAS CAMPANHAS DE COLETA.....	113
8.2 APÊNDICE B - RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRAS COLETADAS	114
8.3 APÊNDICE C - ESTUDO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRAS COLETADAS	115
8.4 APÊNDICE D - BALANÇO DE MASSA DAS QUATRO ROTAS DE MANEJO PROPOSTAS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Percentual de pontos de monitoramento nas classes de IQA - Valor médio em 2011 no Brasil (a) e em áreas urbanas (b)	6
Figura 2: Fluxograma típico de um tratamento convencional de água	11
Figura 3: Ilustração dos processos de membrana conduzidos à pressão	13
Figura 4: Proporção de água potável derivada de água subterrânea e superficial e dessalinização em alguns países europeus	15
Figura 5: Cenário mundial de produção de água por processo de membrana.....	19
Figura 6: Fluxogramas de linhas de tratamento de água mais empregadas no Brasil e América Latina	22
Figura 7: Percentagem de ETAs com tecnologia convencional operadas por companhias estaduais de saneamento.	24
Figura 8: Variação do volume ocupado por uma amostra de lodo em função do seu teor de água e das propriedades físicas do lodo para cada faixa de umidade.....	33
Figura 9: Variação mensal dos valores de sólidos secos obtidos pelas formulações empíricas.....	40
Figura 10: Área de Atendimento da ETA Laranjal.....	56
Figura 11: Localização da ETA Laranjal.....	57
Figura 12: Planta Geral da ETA Laranjal.....	59
Figura 13: Unidades constituintes do processo coagulação, floculação, decantação da ETA nº 1	60
Figura 14: Planta baixa da ETA nº 1 de Laranjal.....	61
Figura 15: Perspectiva esquemática de um decantador	62
Figura 16: Fluxograma das principais linhas geradoras de resíduo na ETA nº1	63
Figura 17: Fluxograma do dos pontos de coleta de amostras.....	64
Figura 18: Fluxograma do balanço de massa e as respectivas variáveis	73
Figura 19: Rota de manejo A, proposta sem reaproveitamento dos resíduos.....	75
Figura 20: Rota de manejo B, proposta com recirculação direta de ADD e ARLF e tratamento de ARLD.....	76
Figura 21: Rota de manejo C, proposta com recirculação direta de ARLD e ARLF e tratamento de ADD.....	77
Figura 22: Rota de manejo D, proposta com recirculação direta de ARLF e tratamento de ADD e ARLD	78
Figura 23: Diagramas <i>box-plot</i> comparativo de todas as águas analisadas para diferentes parâmetros de controle de qualidade.	81

Figura 24: Série temporal da água residual de lavagem de filtro (ARLF)	83
Figura 25: Série temporal da água de descarga de decantador (ADD).....	83
Figura 26: Série temporal da água residual de lavagem de decantador (ARLD)	83
Figura 27: Curvas amostrais da variação de nível no canal de descarga referente à operação de lavagem de decantadores (ARLD)	85
Figura 28: Curvas amostrais da variação de nível no canal de descarga referente à operação de descarga de decantadores (ADD)	86
Figura 29: Curvas amostrais da variação de nível no canal de descarga referente à operação de lavagem dos filtros (ARLF)	86
Figura 30: Fluxograma da situação atual da ETA nº1 quanto à distribuição de vazões e SST	95
Figura 31: Resultado do balanço de massa da rota A.....	97
Figura 32: Resultado do balanço de massa da rota B.....	98
Figura 33: Resultado do balanço de massa da rota C	99
Figura 34: Resultado do balanço de massa da rota D	100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das metas de tratamento de água	8
Tabela 2: Classificação e descrição de contaminantes e respectivas tecnologias de tratamento de água	10
Tabela 3: Descrição dos processos de um tratamento convencional e seus usos....	12
Tabela 4: Principais tipos de tratamento de água na Europa para abastecimento público.....	17
Tabela 5: Tipo de tratamento mínimo recomendado em função da classificação das águas doces	21
Tabela 6: Tecnologia de tratamento recomendada em função das características de águas naturais.....	23
Tabela 7: Características físico-químicas de resíduos de ETAs brasileiras segundo diferentes autores.....	29
Tabela 8: Etapas do tratamento do lodo de esgotos e seus principais objetivos	32
Tabela 9: Características do lodo adensado	33
Tabela 10: Principais métodos para desaguamento do lodo.....	34
Tabela 11: Características de uma centrífuga para desaguamento	36
Tabela 12: Formulações empíricas para cálculo da produção de sólidos em ETAs .	38
Tabela 13: Faixa de produção de resíduos de ETA segundo o volume de água bruta	41
Tabela 14: Estimativa Orçamentária para Disposição por Faixa de Teor de Sólidos	49
Tabela 15: Enquadramento dos corpos hídricos de água doce segundo a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).....	53
Tabela 16: Principais limites legais de lançamento	54
Tabela 17: Descrição do ponto, material e local de coleta	64
Tabela 18: Período e frequência de amostragem	66
Tabela 19: Número de amostras realizadas no trabalho de campo	68
Tabela 20: Informações da coleta de dados de nível do canal de descarga	71
Tabela 21: Análise estatística dos principais parâmetros das águas residuais geradas na ETA Laranjal (ARLF, ADD e ARLD).	79
Tabela 22: Estatística dos dados de nível d'água no canal de descarga	84
Tabela 23: Estimativa de volume de resíduo descartado pela ETA nº1 por linha geradora.....	87

Tabela 24: Comparativo entre valor médio de cada resíduo, valor mais restritivo da legislação, eficiência requerida do tratamento e características de outros efluentes brasileiros	89
Tabela 25: Estimativa diária da produção de sólidos (kg) segundo dados reais e fórmulas empíricas.....	93
Tabela 26: Dados de produção diária dos resíduos na ETA nº 1 comparado à água bruta	94
Tabela 27: Principais características das rotas propostas	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB. *Água Bruta*

ABNT. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

ADD. *Água de Descarga Diária do Decantador*

Al. *Alumínio*

ANA. *Agência Nacional de Águas*

ARLD. *Água Residual de Lavagem Mensal do Decantador*

ARLF. *Água Residual de Lavagem de Filtro*

CEPT. *Tratamento Primário Quimicamente Assistido (sigla em inglês)*

CONAMA. *Conselho Nacional do Meio Ambiente*

COT. *Carbono Orgânico Total*

DBO. *Demanda Bioquímica de Oxigênio*

DQO. *Demanda Química de Oxigênio*

ED. *Eletrodialise*

EDR. *Eletrodialise Reversa*

ETA. *Estação de Tratamento de Água*

FBRR. *Norma norte-americana: Filter Backwash Recycling Rule*

Fe. *Ferro*

GAC. *Carvão Ativado Granular (sigla em inglês)*

IQA. *Índice de Qualidade de Água*

MF. *Microfiltração*

MO. *Matéria Orgânica*

MON. *Matéria Orgânica Natural*

NBR. *Norma Brasileira*

NF. *Nanofiltração*

OR. *Osmose Reversa*

PAC. *Carvão Ativado em Pó (sigla em inglês)*

PF. *Índice de Perda Física*

pH. *Potencial Hidrogeniônico*

POA. *Processos Oxidativos Avançados*

PROSAB. *Programa de Pesquisa em Saneamento Básico*

Q. *Vazão*

RNFF. *Resíduo Não Filtrável Fixo*

RNFT. *Resíduo Não Filtrável Total*

RNFV. *Resíduo Não Filtrável Volátil*

SS. *Sólidos Suspensos*

SST. *Sólidos Suspensos Totais*

ST. *Sólidos Totais*

TPQA. *Tratamento Primário Quimicamente Assistido*

TS. *Teor de Sólidos*

UF. *Ultrafiltração*

UV. *Ultravioleta*

V. *Volume*

WHO. *Organização Mundial de Saúde(sigla em inglês)*

.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população nas cidades e a crescente demanda por serviços básicos de saneamento implicam na melhoria contínua dos processos de tratamento da água bruta e na ampliação das redes de abastecimento de água potável. Atualmente, gerenciar o setor de saneamento não é uma tarefa fácil, pois este serviço exige cuidados não só com a qualidade da água tratada, como também com o gerenciamento dos resíduos gerados (lodo) e com os custos dos processos de tratamento e distribuição.

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) podem ser vistas como uma indústria que produz água tratada. Os processos de tratamento podem gerar em suas diferentes etapas resíduos com características diversas, que estão relacionadas à origem da matéria-prima, aos produtos químicos adicionados, ao *layout* da estação, entre outros (Di BERNARDO *et al*, 2012).

O processo mais empregado no tratamento da água é o ciclo completo, que engloba as etapas de pré-sedimentação, oxidação, coagulação/floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção. Ele tem como principal objetivo a remoção de patógenos, cor e turbidez da água bruta, e como consequência desse mecanismo, há formação do lodo (Di BERNARDO *et al*, 1999). Nas ETAs convencionais a principal fonte de geração do lodo está na lavagem dos decantadores e nas águas de lavagem dos filtros. A produção destes resíduos pode ser correlacionada à produção de água tratada na ETA, observando-se valores usuais entre 0,2 e 5% (ANDREOLI, PROSAB, 2006).

Estes resíduos podem ser tóxicos ao homem e ao meio ambiente e a maioria das ETAs no Brasil os descarta diretamente nos corpos hídricos sem qualquer tratamento prévio (OLIVEIRA *et al*, 2012). Este quadro suscita à crescente necessidade de gerenciamento adequado desses resíduos, à medida que a legislação ambiental no setor torna-se restritiva quanto ao padrão de lançamento no corpo receptor. (LIBÂNIO, 2010)

Assim sendo, os órgãos ambientais têm atentado para o controle do lançamento destes resíduos, obrigando os responsáveis pelo gerenciamento das ETAs a implantar técnicas adequadas de manejo para a disposição final.

Uma das alternativas para equacionar este problema consiste em reaproveitar ou transformar estes resíduos em matéria-prima para processos industriais, de forma

técnica, ambiental e economicamente correta, sem comprometer a saúde das pessoas envolvidas no processo e minimizando os impactos negativos causados ao meio ambiente. Para tanto, torna-se necessário aprofundar o conhecimento das propriedades desses resíduos, de modo a viabilizar seus potenciais usos.

Esse presente estudo faz uma discussão sobre a caracterização dos resíduos gerados na ETA Laranjal e analisa as alternativas de manejo destes resíduos, buscando avaliar métodos de minimização, tratamento e disposição final dos resíduos da ETA. Essa avaliação incorpora e subsidia as possíveis soluções previstas pela equipe de gestores da ETA Laranjal.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral a caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos gerados na operação da ETA Laranjal como ferramenta de gestão.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar qualitativamente os resíduos da ETA nº1, especificamente aqueles decorrentes da descarga e lavagem do decantador e lavagem dos filtros;
- Quantificar esses resíduos da ETA em termos de volume e massa de sólidos;
- Avaliar a possibilidade de reúso direto das águas residuais oriundas do processo de descarga e lavagem do decantador e de lavagem dos filtros;
- Avaliar quatro rotas de manejo dos resíduos para subsidiar a gestão dos resíduos da ETA nº 1.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO DE ÁGUA

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA), assim como consta na definição da NBR 12.216/1992, é um conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade. Nesse sentido, o principal objetivo de uma ETA é aplicar processos e operações unitárias que, quando utilizados de forma sucessiva, serão capazes de remover cargas poluidoras e de corrigir as propriedades físicas da água, enquadrando-a como potabilizada para então disponibilizá-la ao consumo. Essas operações, independente da combinação dos processos, têm como característica comum a geração de resíduos.

3.1.1 POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA

A potabilização de águas naturais para fins de consumo humano tem como função essencial adequar a água bruta aos limites físicos, químicos, biológicos e radioativos estabelecidos pelos padrões de potabilidade vigentes, de forma a não pôr em risco a saúde dos consumidores (LIBÂNIO, 2010). Outrossim, Richter e Netto (1991) caracterizam a potabilização como o tratamento realizado para atender as finalidades higiênicas, estéticas e econômicas. Deve-se, portanto, evidenciar a definição de água potável:

[...]

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;

[...] (BRASIL, PORTARIA 2914, 2011)

A água potável é água própria para consumo humano e uso doméstico, que é normalmente sanitizada e livre de minerais, substâncias orgânicas e agentes tóxicos em excesso para o uso doméstico, e em quantidade adequada para atender os requisitos mínimos de saúde das pessoas atendidas. (SPELLMAN, 2003, tradução nossa)

Neste contexto, faz-se necessário conhecer as águas naturais a serem direcionadas ao consumo humano, assim como os padrões de potabilidade exigidos para este fim.

As principais fontes de água no Brasil, com relevância no sudeste brasileiro, são mananciais superficiais. De acordo com ANA (2010a), do total de municípios brasileiros, 47% são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais, 39% por águas subterrâneas e 14% pelos dois tipos de mananciais (abastecimento misto). A ANA (2010a) destaca que o uso intensivo de águas superficiais é observado nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Pernambuco e Paraíba, com mais de 75% dos seus municípios abastecidos somente por estes mananciais.

Mais especificamente sobre o estado do Rio de Janeiro, totalmente inserido na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, este apresenta boa disponibilidade hídrica superficial e baixa presença de sistemas aquíferos significativos (ANA, 2010b). Essa característica resulta na predominância de sedes municipais (cerca de 85%) abastecidas exclusivamente por mananciais superficiais.

A qualidade destes mananciais é regulada pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que enquadra as águas doces, salobras e salinas do território nacional em 13 classes, definidas com base nos seus usos preponderantes. Segundo a lei 9.433 (BRASIL, 1997), em situações de escassez o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

Apesar da resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) assumir valores conservadores para alguns parâmetros, tais como a cor verdadeira e turbidez, é comum sistemas de abastecimento de água operarem com turbidez da água bruta superior a 500 UNT durante os eventos chuvosos. Nesses períodos há maior aporte de sólidos uma vez que o solo se encontra mais suscetível à lixiviação (LIBÂNIO, 2010). O autor observa ainda, considerando dados de uma estação de médio porte na região sudeste, que mais de 25% do tempo esta unidade de tratamento recebe água bruta com turbidez superior a 200 UNT.

Libânio (2010) ainda ressalta que cursos d'água aos quais afluem esgotos tratados – mesmo em nível secundário – são susceptíveis a apresentar maior concentração de cistos e oocistos de protozoários, especialmente no período de estiagem, quando a vazão natural escoada reduz-se significativamente. Neste contexto, paradoxalmente é possível associar valores de turbidez mais baixos ao maior risco sanitário.

A Fundação SOS Mata Atlântica (2015) realizou um levantamento com a análise da qualidade da água em 301 pontos de coleta situados em 111 rios, córregos e

lagos de cinco estados brasileiros e o Distrito Federal. As amostras foram coletadas entre março de 2014 e fevereiro de 2015 em mananciais superficiais de 45 municípios, incluindo 25 rios da cidade de São Paulo e 12 da cidade do Rio de Janeiro. A metodologia utilizada para avaliação dos rios considerou um total de 16 parâmetros, tais como: oxigênio dissolvido, fósforo, pH e aspecto visual. A classificação da qualidade das águas baseou-se em cinco níveis de qualidade: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo. Em resumo, os resultados deste estudo foram: 61,8% dos pontos apresentaram qualidade da água considerada regular, 21,6% foram classificados como ruins e 1,7% apresentaram situação péssima. Apenas 15% dos pontos amostrados tiveram sua qualidade enquadrada como 'boa'.

A ANA (2013) apresentou em seu relatório sobre a qualidade das águas no Brasil, baseado em dados coletados no ano de 2011, o seguinte resultado de monitoramento (valores médios do Índice de Qualidade de Água - IQA): 6% dos pontos de monitoramento apresentaram condição ótima; 76% classificados como boa; 11% enquadrados como regular; 6% como ruim; e 1% apresentou péssima qualidade (Figura 1a).

Os valores médios de IQA classificados como "ruim" ou "péssimo" foram, em sua maioria, detectados em corpos hídricos que atravessam áreas urbanas densamente povoadas, como regiões metropolitanas e grandes cidades do interior (Figura 1b). Este fato deve-se ao lançamento de efluentes *in natura*, em sua maioria, ou parcialmente tratados nos corpos hídricos (ANA, 2013).

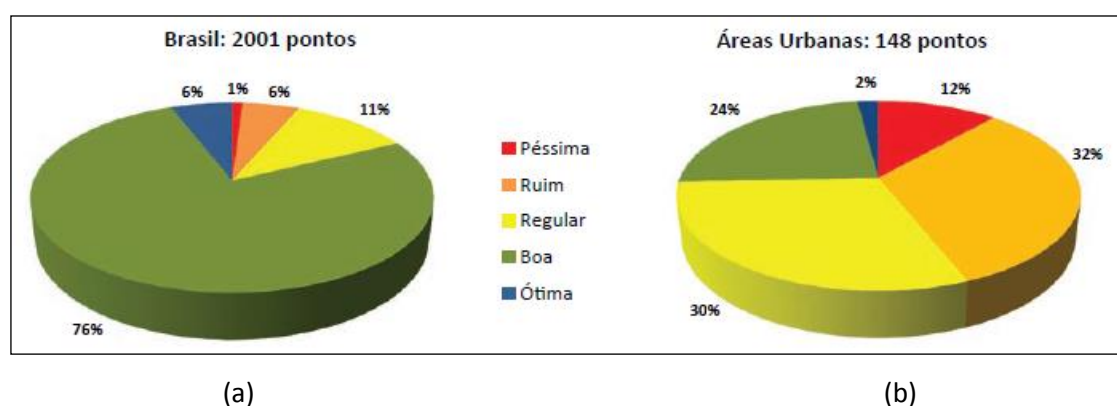


Figura 1: Percentual de pontos de monitoramento nas classes de IQA - Valor médio em 2011 no Brasil (a) e em áreas urbanas (b)

Fonte: ANA, 2013

Observa-se que os resultados apresentados pela Fundação SOS Mata Atlântica (2015) e pela ANA (2013) não são convergentes, uma vez que foram coletados em períodos diferentes, calculados sob metodologias diversas e tratam-se de regiões específicas. No entanto, ambos os trabalhos refletem a influência da inadequada gestão das bacias hidrográficas, principalmente em áreas urbanizadas, sobre a deterioração da qualidade dos mananciais superficiais.

Diante do exposto, fica clara a importância de se preservar os mananciais e de se conhecer a qualidade da água bruta a fim de adequá-la aos padrões de potabilidade. Neste contexto, a Portaria 2914 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, deve ser obedecida em todos os seus requisitos.

O fluxograma de tratamento da água a ser adotado depende da qualidade da água bruta, considerando sua variação sazonal e os requisitos de qualidade definidos para a água tratada. Di Bernardo *et al* (2011) recomendam que, além da qualidade da água bruta, outros fatores devam ser levados em conta na definição do fluxograma de tratamento da água: (a) tipo de tratamento aplicado aos resíduos gerados; (b) condições socioeconômicas da comunidade atendida; (c) capacidade nominal da estação de tratamento; (d) disponibilidade de recursos financeiros para implantação, operação e manutenção da unidade; (e) disponibilidade de pessoal qualificado para operação e manutenção da ETA; (f) disponibilidade de produtos químicos em regiões próximas; e (g) padrão de potabilidade a ser cumprido.

Huck e Sozanski (2011) consideram que a adequada potabilização deve buscar o atendimento das seguintes metas: a remoção de partículas; a remoção de carbono orgânico total (COT); a desinfecção/inativação da água; a maximização da estabilidade biológica; a remoção de contaminantes químicos; a maximização da estabilidade química da água tratada e a manutenção da sua qualidade até o ponto de utilização ou consumo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Descrição das metas de tratamento de água

META DO TRATAMENTO	DESCRIÇÃO DA META
Remover partículas	Essa meta também inclui a remoção de material coloidal e eliminação física de microrganismos patogênicos. A remoção de material particulado em suspensão é necessária por razões estéticas e para garantir a integridade operacional do sistema de abastecimento de água. Além disso, os materiais particulados podem apresentar microrganismos adsorvidos a eles, interferindo nos processos de desinfecção/inativação. Portanto, é necessário que a concentração de partículas (tradicionalmente controlada pelo parâmetro “turbidez”) seja reduzida para menores teores já no início do processo de tratamento.
Reduzir Carbono Orgânico Total (COT)	A matéria orgânica (MO) naturalmente presente nas águas brutas pode interferir nos processos empregados para o seu tratamento, além de atribuir-lhe cor de modo esteticamente indesejável. A remoção de COT reduz a demanda de produto desinfetante e a consequente formação de subprodutos; reduz a incrustação em membranas de filtração, quando estas são contempladas no processo de tratamento; e dá estabilidade ao residual de desinfetante requerido no sistema de distribuição.
Desinfetar ou Inativar	A desinfecção ou inativação de microrganismos deve ser prevista como uma das etapas do tratamento da água. Embora existam vários desinfetantes, os mais utilizados são: cloro, dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta (UV). Embora o cloro tenha um importante papel na saúde pública de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, sua relação com o risco de formação de subprodutos pode limitar seu emprego. Já o dióxido de cloro, apesar de não formar estes subprodutos, não oferece alguns benefícios atribuídos à ozonização nem apresenta a capacidade de inativação do UV para organismos específicos, como o <i>Cryptosporidium</i> .
Maximizar a estabilidade biológica	O objetivo desta meta é minimizar o risco de novo crescimento bacteriano no sistema de distribuição. Conceitualmente, seu cumprimento requer a introdução de processos biológicos no tratamento a fim de eliminar fontes de nutrientes e energia para os microrganismos. Esta meta torna-se mais pertinente para os sistemas de abastecimento que não contemplam a manutenção de desinfetante residual na rede de distribuição de água. Em tratamento envolvendo filtração em membranas, esta meta maximiza a estabilidade biológica da água a montante da membrana, reduzindo o risco de incrustação biológica.
Remover contaminantes químicos	As substâncias químicas orgânicas e inorgânicas apresentam risco crônico à saúde. Sua remoção pode ocorrer de diferentes maneiras: (a) transferência da substância para outra fase por volatilização, precipitação ou adsorção; (b) oxidação química ou biológica dos contaminantes; (c) remoção física por filtração em membrana. Esta meta interage com a desinfecção/inativação, uma vez que os desinfetantes químicos também funcionam como oxidantes.

META DO TRATAMENTO	DESCRIÇÃO DA META
Maximizar a estabilidade química da água tratada	Os processos de tratamento como a coagulação, podem alterar o equilíbrio químico observado na água bruta. Esta alteração, muitas vezes representada pela variação do pH da água, pode requerer correções ao final do tratamento de modo a evitar inconvenientes na distribuição, como a precipitação de resíduos de coagulantes dissolvidos na rede.
Manter a qualidade da água até o ponto de utilização ou consumo	A qualidade organoléptica da água é um dos fatores determinantes para a confiança e aceitação do consumidor, ainda que esta característica não tenha relação direta com sua qualidade sanitária. Em geral, a maioria dos problemas com odor está relacionada ao crescimento excessivo de algas e cianobactérias na água bruta. Deve-se atentar que estes organismos podem produzir também toxinas, substâncias capazes de causar efeito adverso à saúde do consumidor. A concentração de substâncias odoríferas pode ser reduzida para níveis aceitáveis durante o tratamento. A ocorrência ou acentuação de odores no sistema de distribuição pode ter relação com a instabilidade biológica da água tratada.

Fonte: adaptado de HUCK e SOZANSKI, 2011, tradução nossa.

Basicamente, o tratamento da água consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias que sejam deletérias à saúde humana, aos menores custos de implantação, operação e manutenção, e gerando o menor impacto ambiental às áreas circunvizinhas. As tecnologias de tratamento disponíveis visam alcançar tais objetivos com a associação de processos físico-químicos (LIBÂNIO, 2010), conforme resume a Tabela 2. Destaca-se que as substâncias dissolvidas são removidas pelos processos onde mecanismos químicos e/ou biológicos predominam.

Tabela 2: Classificação e descrição de contaminantes e respectivas tecnologias de tratamento de água

1. Classificação de contaminantes com base no tamanho					
Macroscópico (suspensão) maior que 10^{-5} m					
Microscópico (coloidal): de 10^{-5} a 10^{-9} m					
Dissolvido: menos que 10^{-9} m					
2. Classificação de processos de tratamento simples baseados nos mecanismos					
Processos Físicos - PF					
Processos Químicos - PQ					
Processos Biológicos - PB					
3. Classificação de processos de tratamento complexos baseados na integração dos mecanismos					
Processos Físico-químicos - PFQ					
Processos Biofísicos - PBF					
Processos Bioquímicos - PBQ					
Processos Biofísico-químicos - PBFQ					
4. Classificação dos contaminantes, seus componentes e processos típicos de remoção					
Classe de contaminante	Componentes típicos de contaminante		Tamanho	Processo	Mecanismo
	Águas subterrâneas	Águas superficiais			
Materiais flutuantes Suspensões Emulsões Algas Protozoários Bactérias	Nenhum	Ramos, folhas, emaranhados de algas, partículas do solo	Macroscópico (suspensão)	Gradeamento Sedimentação Flotação Filtração Rápida Microfiltração Radiação UV	Predomínio de processos físicos
Colóides Macromoléculas Bactérias Vírus	Microrganismos, vestígios de constituintes orgânicos e inorgânicos ¹	Argila, silte, materiais orgânicos, organismos patogênicos, algas, outros microrganismos	Microscópico (coloidal)	Coagulação Filtração Rápida Oxidação química Filtração biológica Ultrafiltração Estabilização química	Integração de processos biológicos, físicos e químicos
Moléculas Íons	Ferro e manganês, íons de dureza, sais inorgânicos, vestígios de compostos orgânicos, radionuclídeos	Compostos orgânicos, ácidos tânico, íons de dureza, sais inorgânicos, radionuclídeos	Dissolvido	Oxidação/redução Precipitação química Troca iônica Filtração biológica Estabilização química	Predomínio de processos químicos e biológicos
Gases dissolvidos	Dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio	²	Dissolvido	-	-
Líquidos imiscíveis	³	Óleos e graxas	-	-	-

¹ Tipicamente de origem antropogênica

² A supersaturação de gás pode ter que ser reduzida se a água de superfície for utilizada para viveiros de peixe

³ Incomum em aquíferos subterrâneos naturais

Fonte: adaptado de HUCK e SOZANSKI, 2011 e de MWH, 2005 *apud* DIALLO, 2010; tradução nossa.

O tratamento de água é subdividido em três tipos: simples, convencional e avançado (LIBÂNIO, 2010). O tratamento simples é comumente empregado na potabilização de águas com baixas cor verdadeira, turbidez e concentração de algas, quase sempre como única etapa do tratamento. Geralmente a composição mais utilizada neste processo é, em ordem de aplicação: prefiltração, filtração lenta ou filtração rápida e desinfecção. Essa sequência não está identificada na Tabela 2, uma vez que esta é entendida como um pretratamento pelas referências consideradas naquela tabela.

Richter e Netto (1991) classificam o tratamento convencional, também denominado ciclo completo, como aquele composto pelos seguintes processos, em ordem de aplicação: coagulação química, mistura rápida, floculação, decantação/sedimentação, filtração rápida e desinfecção (Figura 2). Basicamente, tratamento convencional refere-se ao tratamento que necessita do condicionamento da água através da clarificação, definida pela associação da coagulação, floculação e sedimentação, antes de aplicá-la no filtro.

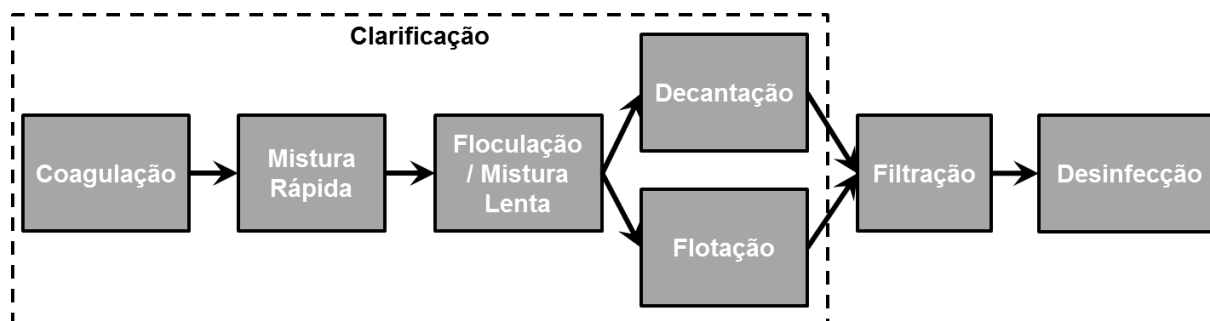


Figura 2: Fluxograma típico de um tratamento convencional de água

A descrição de cada etapa do tratamento convencional e sua aplicação estão resumidas na Tabela 3.

Tabela 3: Descrição dos processos de um tratamento convencional e seus usos

OPERAÇÃO/ PROCESSO	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO TÍPICA NO TRATAMENTO DA ÁGUA
Operações físicas unitárias		
Filtração	A remoção de material particulado através de um leito filtrante composto de material granular, através do qual a água escoar e as partículas ficam retidas	Remoção de sólidos após passar por coagulação, floculação, sedimentação por gravidade ou flotação
Floculação	Agregação de partículas que tenham sido quimicamente desestabilizadas por coagulação	Utilizado para criar partículas maiores que podem ser mais facilmente removidas por outros processos tais como a decantação por gravidade ou filtração
Equalização de vazão	Tanque de armazenamento que pode armazenar água para equalizar a vazão e minimizar a variação na qualidade da água	Grandes tanques de armazenamento usados para água de lavagem dos resíduos que permitem uma vazão de retorno constante para a cabeceira da estação de tratamento; Tanques de contenção usados para armazenar água tratada permitindo que a planta de tratamento opere em velocidade constante, independentemente de mudanças de curto prazo na demanda do sistema.
Mistura	Misturando e mesclando duas ou mais soluções através da absorção de energia	Utilizado para misturar e mesclar produtos químicos
Sedimentação	Separação de sólidos sedimentáveis por gravidade	Utilizado para remover as partículas superiores a 0,5 mm geralmente após passar por coagulação e floculação
Processos químicos unitários		
Desinfecção química	Adição de agentes químicos oxidantes para inativar organismos patogênicos na água	Desinfecção da água com cloro, compostos clorados ou ozônio
Neutralização química	Neutralização de soluções através da adição de agentes químicos	Controle de pH, otimização da faixa de operação para outros processos de tratamento
Coagulação	Processo de desestabilizações coloidais para que haja crescimento do tamanho das partículas durante a floculação	Adição de produtos químicos como cloreto férrico, alumínio e polímeros para desestabilizar partículas encontradas na água

Fonte: adaptado de MWH, 2005 *apud* DIALLO, 2010; tradução nossa.

O tratamento avançado pode ser caracterizado pela adoção de diversas tecnologias usadas isoladamente, como a filtração em membranas, ou associadas ao tratamento simplificado ou convencional. Os fatores que podem levar à inserção dessas novas fases às tradicionais tecnologias de potabilização são: deterioração da qualidade dos mananciais de abastecimento, maior restrição dos padrões de potabilidade e aumento da demanda por água potável. Destacam-se as tecnologias

de filtração em membranas (micro, ultra ou nanofiltração, osmose reversa, diálise e eletrodialise), flotação por ar dissolvido, adsorção em carvão ativado em pó ou granular, *stripping* de gases, processos oxidativos avançados (POA) e troca iônica.

De todos os processos do tratamento avançado, enfatiza-se a filtração em membranas, que é uma tecnologia em ascensão na América Latina. As membranas são utilizadas para separar os componentes de um fluxo de água em produtos utilizáveis (permeado ou filtrado) e resíduos (retido ou concentrado). Na maioria das instalações o permeado é posteriormente submetido à desinfecção e, eventualmente, à fluoretação e correção de pH. Os sistemas de membrana são caracterizados pela força motriz necessária para efetuar a separação (por exemplo, conduzida à pressão ou por separação elétrica) (LIBÂNIO, 2010). As técnicas de separação em membrana utilizadas para tratar água incluem:

- Tecnologia de baixa pressão, como a microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF),
- Tecnologia de alta pressão, como a nanofiltração (NF) e a osmose reversa (OR), e
- Tecnologia por força eletromotriz, como a eletrodialise (ED) e a eletrodialise reversa (EDR).

A Figura 3 ilustra a hierarquia de processos de membrana conduzidos à pressão.

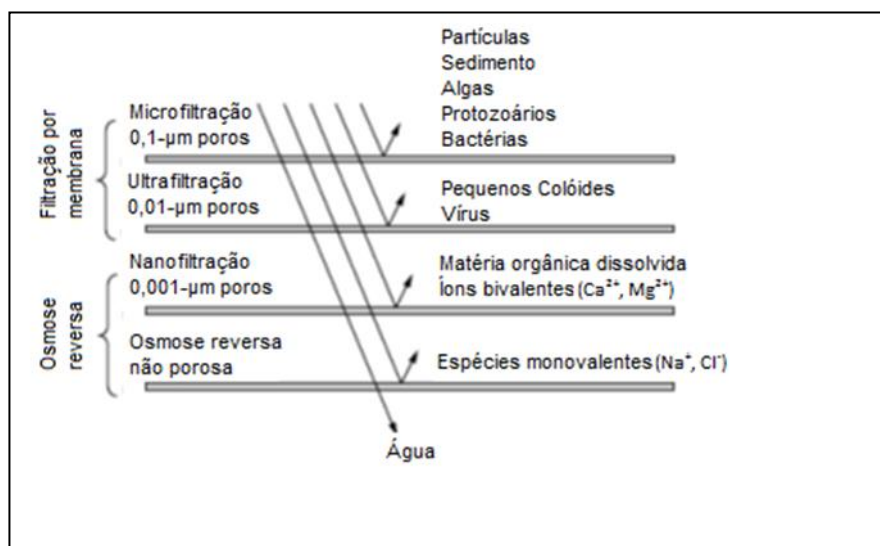


Figura 3: Ilustração dos processos de membrana conduzidos à pressão
Fonte: Howe et al, 2012, tradução nossa.

O conservadorismo observado na adoção de tecnologias aplicadas para a potabilização de água tem sido vencido graças aos seguintes fatores: desenvolvimento e disponibilidade de novas tecnologias, com expressiva redução dos seus custos; aumento do elenco de contaminantes detectados e com potencial risco de contaminação da água; aumento de requisitos regulamentares de potabilidade; minimização dos impactos ambientais decorrentes do tratamento, incluindo os requisitos de energia e resíduos gerados.

3.1.2 TENDÊNCIA MUNDIAL PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA

Os processos e tecnologias utilizados para remover contaminantes da água são semelhantes em todo o mundo. Sua adoção também utiliza critérios comuns:

- Características da água bruta, analisando a fonte (superficial ou subterrânea);
- Tipos de contaminantes que possam estar presentes na água;
- Custos inerentes aos diferentes tratamentos.

Segundo WHO (2002), alguns países europeus têm como política a redução da exploração de aquíferos para fins potáveis. Com isso é possível minimizar a exploração excessiva destes mananciais, como observado nos Países Baixos, e reduzir o risco de sua contaminação, como registrado na Moldávia. A Figura 4 apresenta a proporção de água potável derivada de diferentes fontes em países europeus. Em alguns desses países, as águas subterrâneas podem incluir água de nascente a partir de fontes superficiais, ou seja, água mineral potável, cujas proporções estimadas são: Áustria - 49%; Alemanha - 7%, Itália - 37%; Espanha - 4%; e Suíça - 46%. Além disso, na Noruega cerca de 6% das águas subterrâneas são derivadas da filtração em margem¹. Ainda segundo a mesma publicação, muitos países europeus utilizam a filtração em margem como um método econômico de melhorar a qualidade das águas superficiais antes da sua potabilização, reduzindo assim os custos com o tratamento convencional da água. Tal filtração não é prática recomendada para todos os casos, uma vez que sua aplicação depende da geologia da região.

¹ Filtração em margem é um processo de infiltração de águas superficiais em um sistema de captação da água subterrânea. Esta captação de água é comumente feita por poços de exploração instalados à margem dos mananciais superficiais. À medida que a água flui através do solo, é filtrada e, conseqüentemente, a sua qualidade é melhorada (SHARMA e AMY, 2009).

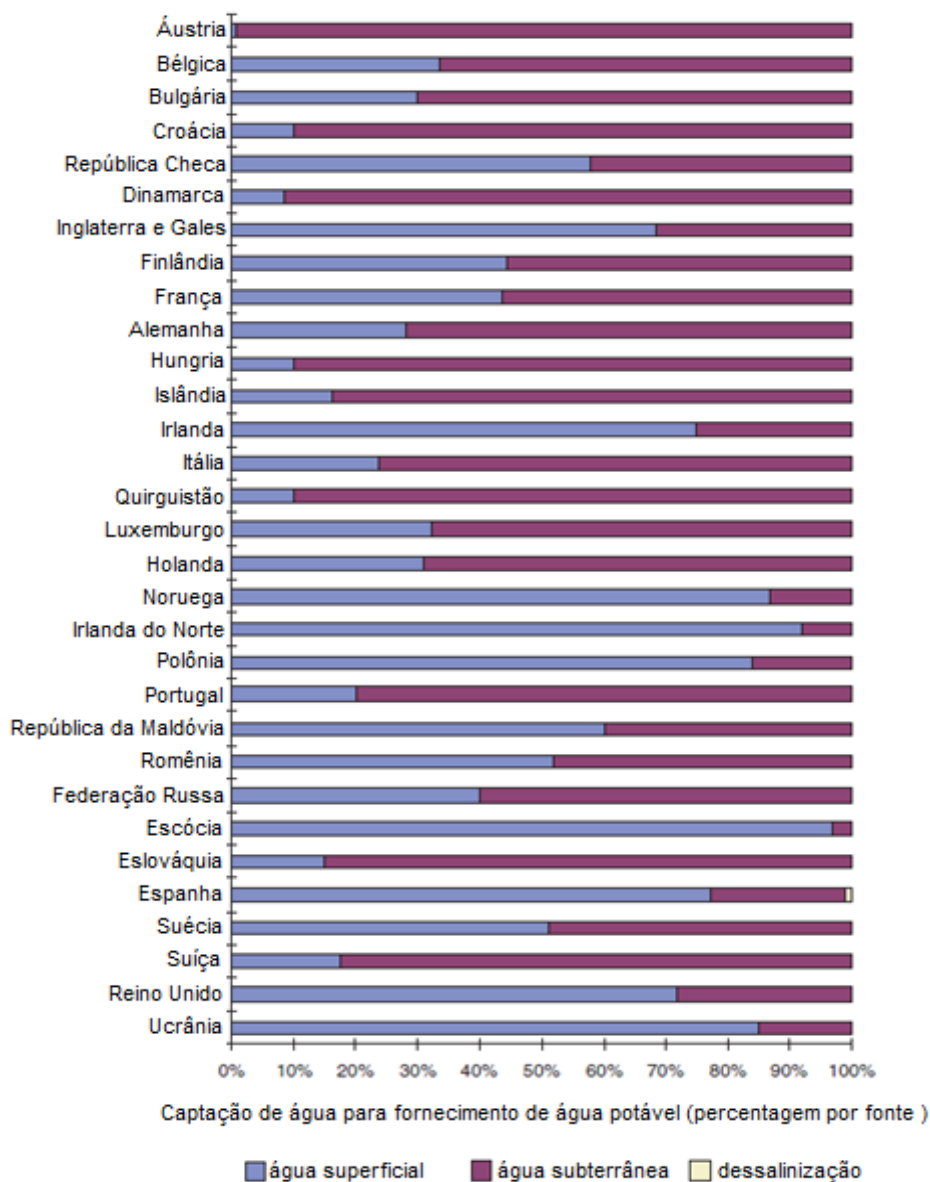


Figura 4: Proporção de água potável derivada de água subterrânea e superficial e dessalinização em alguns países europeus
Fonte: WHO, 2002

Em 1970, o Parlamento Europeu aprovou uma resolução contendo medidas para proteção da qualidade da água nos mananciais, associando de forma clara a poluição hídrica com a saúde pública. Em 2000, a União Europeia assumiu a abordagem legislativa para a gestão e proteção da água, baseada não em fronteiras nacionais ou políticas, mas em bacias hidrográficas. O objetivo dessa abordagem foi garantir a preservação e/ou melhoria da qualidade dos mananciais, já que o nível de tratamento requerido para mananciais de baixa qualidade é significativo e caro.

Numa visão histórica referente ao tratamento de água, novos contaminantes gerados pelo próprio homem foram introduzidos nos mananciais, sendo comumente removidos com auxílio de processos químicos, tais como a oxidação (HUCK E SOZANSKI, 2011). Um exemplo disso é a detecção, já na década de 1970, da matéria orgânica natural (MON) decorrente de ácidos orgânicos, principalmente os húmicos e fúlvicos, cuja reação com oxidantes (cloro ou ozônio) culmina na formação de subprodutos indesejáveis, como os compostos orgânicos halogenados (ROOK, 1974; BELLAR et al., 1974 apud HUCK e SOZANSKI, 2011). A potencial formação de subprodutos do tratamento tem conduzido a discussão por parte da comunidade científica sobre a dependência de processos químicos para a potabilização de água.

Como consequência disso, processos físicos e biológicos de tratamento são privilegiados, estimulando o avanço tecnológico nas unidades de filtração por membranas e nos equipamentos para desinfecção/inativação. Destaca-se também o emprego de oxidantes e desinfetantes alternativos, tais como: ácido peracético, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, monocloramina e radiação ultravioleta (UV).

Na União Européia (WHO, 2002) os novos estados independentes utilizam mais comumente a desinfecção com cloro. A radiação UV é usada em alguns países da Europa, principalmente quando os mananciais são protegidos de contaminação fecal de animais em geral. Na Polônia, a cloração é o principal método de desinfecção da água em sistemas públicos de abastecimento. Em poços e sistemas de abastecimento de água individuais, a cloramina e o hipoclorito de cálcio são comumente utilizados. O dióxido de cloro possui amplo uso na França, Alemanha e Itália. Já o ozônio é o desinfetante preferido em alguns locais na França, na Alemanha e na Holanda.

A Tabela 4 resume as principais linhas de tratamento de água utilizadas na Europa com a finalidade de abastecimento de água potável.

Tabela 4: Principais tipos de tratamento de água na Europa para abastecimento público.

PRINCIPAIS TIPOS DE TRATAMENTO UTILIZADOS PARA FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL		
País	Águas subterrâneas e águas de nascente	Água superficial
Bélgica	<ul style="list-style-type: none"> - Somente aeração e desinfecção. - Pouco carvão ativado granular (GAC) e unidades de remoção de nitrato. - Alguma remoção de ferro e manganês. - Um pouco de <i>stripping</i> por ar para extração de orgânicos. 	Coagulação química (floculação, filtração rápida de areia, O ₃ + adsorção por GAC) e desinfecção.
Finlândia	Principalmente alcalinização. Remoção de ferro e manganês e alguma desinfecção. Alguns casos de O ₃ + tratamento de GAC.	Coagulação química, clarificação, filtração e desinfecção. Alguns casos O ₃ + tratamento com GAC.
França	<ul style="list-style-type: none"> - Somente desinfecção. - Alguma remoção de nitrato (troca iônica e desnitrificação biológica). 	<ul style="list-style-type: none"> - Coagulação química, O₃ + GAC (também alguns processos oxidativos avançados, tais como O₃ + GAC + O₃ ou H₂O₂) e desinfecção. - Poucos sistemas hidráulicos com tecnologia de membrana - Alguma remoção de nitrato (principalmente por troca iônica).
Alemanha	A maioria da água subterrânea não é tratada, há alguma desinfecção, exceto onde a remoção de pesticida, solvente ou nitrato é necessária.	<ul style="list-style-type: none"> - Filtração em margem é geralmente utilizada. - Usualmente carvão ativado é utilizado. - Recarga de aquífero e filtração em margem combinados com coagulação, filtração, O₃ + GAC, desinfecção.
Islândia	Sem desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> - Filtração e radiação ultravioleta. - Nenhum abastecimento é clorado.
Itália	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco ou nenhum tratamento, principalmente desinfecção. - Uso considerável de GAC para remoção de pesticidas e solvente orgânico. - Tendência a abandonar o cloro para o dióxido de cloro para a desinfecção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tradicionalmente tratamento físico ou físico e químico. - Também complexos tratamentos como GAC e desinfecção. - Elevação da utilização de dióxido de cloro.
Holanda	Equipamento de aeração e filtração de areia de vários estágios.	<ul style="list-style-type: none"> - O uso extensivo de tratamento de múltiplos estágios, incluindo infiltração em duna, coagulação, carvão ativado e desinfecção com cloro ou ozônio (tendência de afastamento do uso de cloro devido a formação de trihalometanos). - Preocupação em manter baixa a assimilação de carbono orgânico na rede de distribuição.
Moldávia	Água subterrânea é usada para consumo sem tratamento em cerca de 50 cidades.	-
Rússia	Apenas desinfecção (cloração).	-
Eslováquia	- 75% suprimento segue apenas a desinfecção (especialmente na Eslováquia sudoeste e central)	- Seis das maiores plantas usam coagulação química e cloração ou cloraminação.
	- O resto é tratado para a remoção de Fe, Mn, NH ₄ , CO ₂ , oxidabilidade e metano.	- Frequentemente usa filtração de areia ou filtração lenta.

PRINCIPAIS TIPOS DE TRATAMENTO UTILIZADOS PARA FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL		
País	Águas subterrâneas e águas de nascente	Água superficial
Espanha	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamento mínimo, principalmente desinfecção. - Filtração/coagulação química e GAC ou O3 + GAC são os mais utilizados 	<ul style="list-style-type: none"> - Mais comum coagulação química com filtração rápida. - GAC ou O3 + GAC são frequentemente utilizados e as doses elevadas são muitas vezes necessárias, levando a preocupação com trihalometanos.
Suécia	Nenhum	Tratamento e desinfecção.
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> - Desinfecção somente usando cloro. - Remoção de ferro e manganês para algumas fontes - Cerca de 20 fontes com remoção de nitrato (todos de troca iônica). - Remoção de orgânicos (pesticidas e solventes) por O3 + carvão ativado granulado em 20% das fontes 	<ul style="list-style-type: none"> - Principalmente coagulação química e desinfecção. - Alguma filtração lenta. - Remoção de pesticidas por GAC ou O3 + GAC para um terço do abastecimento

Fonte: WHO, 2002

Na Austrália o tratamento mais utilizado é do tipo convencional (CRC AUSTRÁLIA, 2008). Em alguns casos, ao invés de se utilizar filtro de areia opta-se pela filtração por membrana, sendo a microfiltração mais amplamente aplicada em estações de tratamento de água de pequeno porte. No caso da ocorrência eventual de contaminação por um poluente específico, principalmente cianobactérias, é usual a adição de carvão ativado em pó na etapa de coagulação/floculação convencional. Este produto é retido nos filtros e, em seguida, descartado juntamente com o lodo da ETA. Os sistemas de desinfecção química mais utilizados naquele país são: cloração, cloraminação e ozonização.

Huck e Sozanski (2011) ressaltam, no entanto, que os processos físicos e biológicos para o tratamento de água ressurgiram nos últimos anos nos EUA, com destaque para o avanço significativo da tecnologia de filtração em membrana. As membranas ultimamente estão sendo aplicadas rotineiramente ou, pelo menos, avaliadas para uma gama muito mais ampla de aplicações, como tratamento de água e esgoto, dessalinização, reúso e recuperação de água.

Inicialmente foram empregadas membranas OR de alta pressão para dessalinização da água do mar e água salobra, principalmente no hemisfério norte e

em países com forte seca, como EUA, Espanha e Israel. No entanto, o emprego delas vem se ampliando, cerca de 25% a cada ano, conforme ilustra a Figura 5.

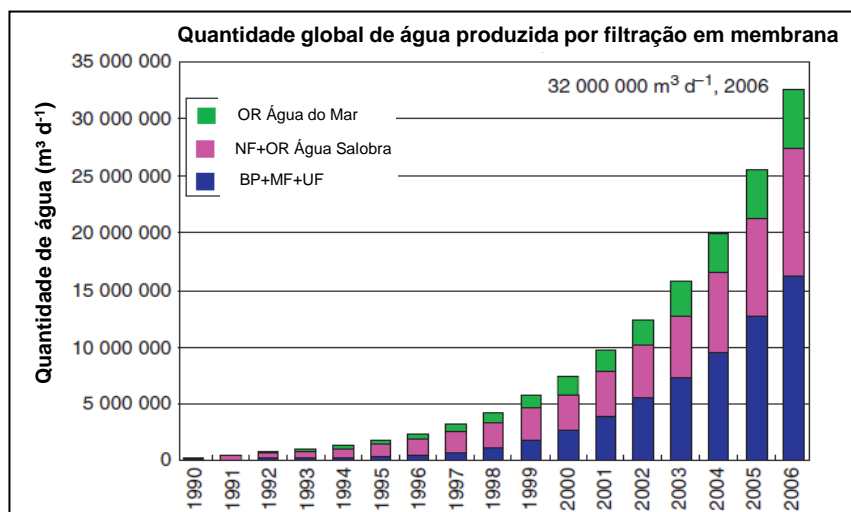


Figura 5: Cenário mundial de produção de água por processo de membrana
Fonte: adaptado de Watanabe and Kimura, 2011

Schneider e Tsutiya (2001) destacam que a tecnologia de membranas foi utilizada com sucesso para remoção de cor em águas derivadas de zonas de turfa na Noruega na década de 1980. Neste mesmo período uma variante desta tecnologia, a nanofiltração, começou a ser aplicada em escala comercial para remoção de dureza de águas subterrâneas no estado da Califórnia (EUA). Segundo Libânio (2010), o grande avanço do emprego desta tecnologia em saneamento básico ocorreu no início dos anos 1990 (Figura 5) quando foram lançadas nos EUA membranas de separação de partículas por micro e ultrafiltração para produção de água potável em escala industrial, derivadas de membranas empregadas em hemodiálise. Percebe-se que, em termos de remoção de sólidos e patógenos, as membranas são mais eficientes do que a filtração convencional em areia, pois podem proporcionar uma barreira absoluta aos sólidos, inclusive os dissolvidos.

Ressalta-se que o uso da membrana não isenta o emprego de produtos químicos no tratamento, uma vez que estes são necessários para sua limpeza. Para controlar a incrustação da membrana - denominada *fouling* – devem ser previstas ainda as operações de pré-tratamento da água afluyente e de retrolavagem, associada a limpeza química da membrana. O pré-tratamento, que contempla em geral as etapas de clarificação, é aplicado para reduzir a concentração de sólidos em suspensão e

de microrganismos na água afluente à membrana. Já sua limpeza pode ser realizada por retrolavagem com água e/ou ar. O tratamento químico é usado para remover constituintes que não são removidos da parede da membrana durante a retrolavagem convencional.

Mesmo com avanço das tecnologias de tratamento, há um consenso mundial de que a prevenção da poluição ainda é a solução mais adequada e segura para a potabilização de água.

3.1.3 TENDÊNCIA BRASIL

O panorama do tratamento de água na América Latina, inclusive o brasileiro, traduz-se em tecnologias convencionais e simplificadas, com avanços tecnológicos lentos e pontuais. No Brasil, os elevados impostos sobre produtos tecnológicos importados e a desvalorização da moeda dificultam, por exemplo, a aquisição de membranas e a expansão desta tecnologia. No entanto, as exigências de órgãos ambientais, a definição de padrões de potabilidade cada vez mais restritivos e a perspectiva da progressiva queda da qualidade dos mananciais estão conduzindo para adoção de novas tecnologias no tratamento de água, destacando-se a filtração em membrana.

A Portaria 2914 (BRASIL, 2011), que define os padrões de potabilidade da água para consumo humano, torna obrigatória a desinfecção ou cloração de toda água fornecida coletivamente. No caso da água bruta ser originária de mananciais superficiais, há ainda a obrigatoriedade de filtração precedendo a desinfecção. Já a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) também define o nível mínimo de tratamento da água de abastecimento para consumo humano a ser implementado em função da classificação do corpo hídrico superficial, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Tipo de tratamento mínimo recomendado em função da classificação das águas doces

CLASSIFICAÇÃO DO MANANCIAL DE ÁGUA DOCE	TIPO DE TRATAMENTO ESTABELECIDO
Classe Especial	Desinfecção
Classe 1	Tratamento Simplificado
Classe 2	Tratamento Convencional
Classe 3	Tratamento Convencional
Classe 4	Águas destinadas a usos menos exigentes

Fonte: adaptado de CONAMA 357, 2005

Embora a resolução CONAMA 357/2005 mencione somente desinfecção como única etapa de tratamento para mananciais de água doce - classe especial, a Portaria 2914 (BRASIL, 2011) impõe-se como referência de potabilização obrigando ainda a filtração, independente da classe do manancial (conforme explicitado anteriormente).

Segundo Libânio (2010), as tecnologias de tratamento de águas naturais apresentam três fases, nas quais processos e operações unitárias são conjugados, a saber: clarificação, filtração e desinfecção. Neste contexto, é possível afirmar que a clarificação abarca as etapas de coagulação, floculação e decantação ou flotação.

As linhas de tratamento mais comumente empregadas no Brasil são: (a) filtração lenta, (b) filtração direta com ou sem floculação e (c) tratamento convencional. Os fluxogramas da Figura 6 representam essas linhas de tratamento. A inexistência da coagulação inevitavelmente conduz ao emprego da filtração lenta, com ou sem unidades de pré-tratamento, que serão concebidas dependendo das características da água bruta (Figura 6a).

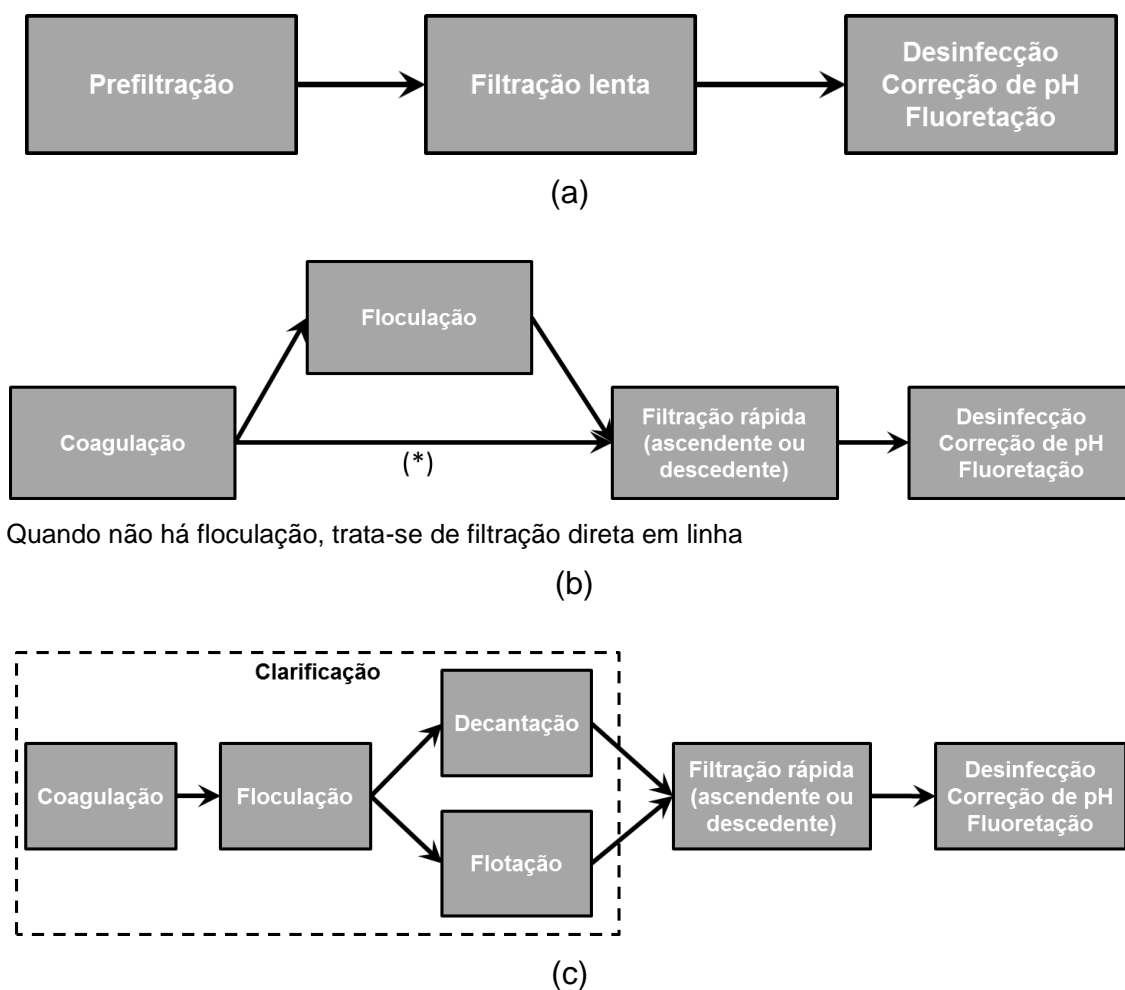


Figura 6: Fluxogramas de linhas de tratamento de água mais empregadas no Brasil e América Latina

O principal parâmetro que define a seleção do tipo de tratamento de água é a característica da água bruta. Os demais aspectos a serem considerados são a vazão a ser tratada, a mão-de-obra disponível para operação e manutenção do sistema, os custos dos insumos (produto químico, por exemplo), entre outros. Sendo assim, a escolha da tecnologia de tratamento deve conduzir ao menor custo sem, contudo, desprezar a segurança na produção de água potável. Neste contexto, Kawamura (2000) recomenda as tecnologias de tratamento a serem empregadas em função das características das águas naturais, conforme resumo na Tabela 6.

Tabela 6: Tecnologia de tratamento recomendada em função das características de águas naturais.

CARACTERÍSTICA/ TECNOLOGIA DE TRATAMENTO	CONVENCIONAL	DUPLA FILTRAÇÃO	FILTRAÇÃO DIRETA	FILTRAÇÃO LENTA*	FILTRAÇÃO DIRETA EM LINHA
Turbidez (uT)	< 3000	< 50	< 20	< 10	< 5
Cor Aparente (uC)	< 1000	< 50	< 20	< 20	< 15
E. Coli (NMP/100 mL)	< 10 ⁶	< 10 ³	< 10 ³	< 10 ³	< 100
Algas (UPA/mL)	< 10 ⁵	< 5000	< 10 ³	< 250	< 100

*Sem o emprego de pré-filtros

Fonte: Kawamura, 2000

As principais limitações ao emprego da filtração lenta referem-se essencialmente às características da água bruta e à elevada requisição de área para sistemas de grande porte. Segundo Libânio (2010), em relação à primeira limitação, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas associando unidades de prefiltração aos tradicionais filtros lentos de escoamento descendente, objetivando reduzir os picos de turbidez e de algas, elevando a duração das carreiras dos filtros. Em última instância, tenciona-se ampliar o espectro de aplicação desta tecnologia no tratamento de águas de baixa turbidez com variações sazonais de pequena magnitude.

Já a requisição de grandes áreas, que pode alcançar valor sete vezes superior àquele demandado pelo tratamento convencional, condiciona o uso desta tecnologia em regiões planas e para comunidades de pequeno porte, onde o custo do terreno não seja fator relevante e cujos mananciais estejam bem protegidos.

A filtração direta apresenta menor custo de implantação quando comparada a filtração lenta, mas seu custo de operação e manutenção é superior. Tal observação é justificada pelo uso de produtos químicos na etapa de coagulação, requisição de mão de obra qualificada para operar as lavagens mais frequentes das unidades, dentre outros aspectos. Como limitações para esta tecnologia, decorrentes

principalmente da inexistência das unidades de floculação e decantação, podem-se destacar: (a) desempenho insatisfatório na potabilização de águas que apresentem continuamente cor verdadeira e turbidez elevadas, com sensível redução das carreiras de filtração; (b) redução do tempo de detenção da água no interior da estação, requerendo maior habilidade dos operadores na ocorrência de bruscas alterações das características da água bruta. Deste modo, o emprego da filtração direta é mais viável no tratamento de águas oriundas de lagos e represas. Porém, em mananciais dessa natureza são mais suscetíveis às florações de algas, favorecendo a redução da carreira dos filtros.

Em função das limitações das tecnologias de filtração lenta e direta, no Brasil há a preferência pelo tratamento convencional da água, conforme corroborado por Di Bernardo *et al* (2003) na Figura 7.

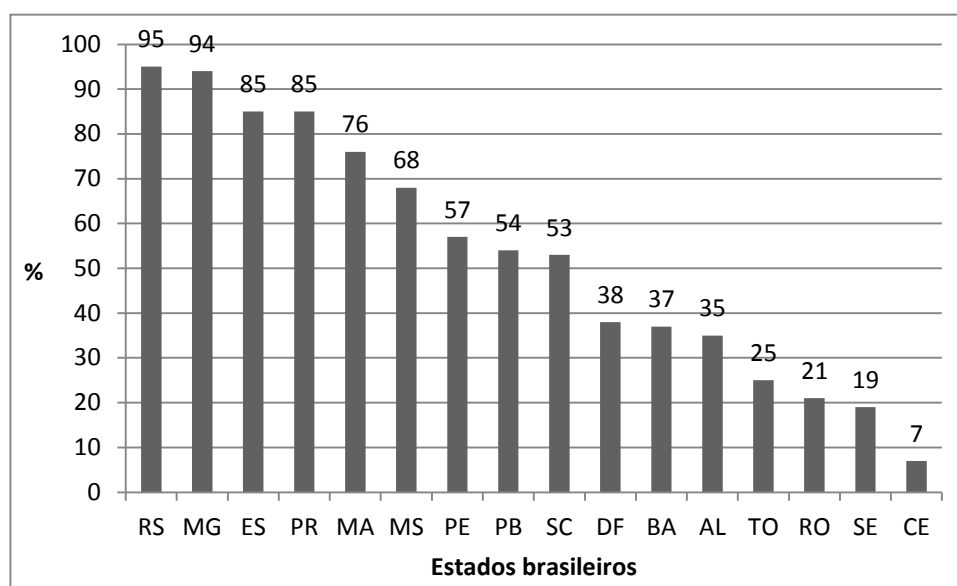


Figura 7: Percentagem de ETAs com tecnologia convencional operadas por companhias estaduais de saneamento.

Fonte: Di Bernardo *et al*, 2003

A Figura 7 revela um levantamento realizado junto às companhias estaduais de saneamento. Salienta-se que este estudo levantou como tecnologias de tratamento o ciclo completo (convencional), a filtração direta ascendente, a filtração direta descendente, a dupla filtração e a filtração lenta. Observa-se que em alguns estados da região nordeste, o número de estações de tratamento convencional é superado

pelo número de estações não convencionais. Já em regiões de maior concentração urbana, como a sudeste, o tratamento convencional é quase absoluto.

O emprego da flotação ainda é incipiente no Brasil e melhor se aplica às águas naturais com elevada concentração de cor e de algas, sendo estas responsáveis pela redução da sedimentabilidade dos flocos. Esta operação também pode ser associada à filtração direta, substituindo a floculação, sendo por vezes instalada sobre o meio filtrante caracterizando o processo de floto-filtração. (LIBÂNIO, 2010)

No Brasil a tecnologia de membranas tem como principal aplicação a dessalinização para a potabilização de águas. Segundo Silva (2008), o nordeste brasileiro é a região que mais utiliza membranas de osmose reversa (OR) para esta finalidade, uma vez que os mananciais subterrâneos são caracteristicamente de água salobra. No entanto, destaca-se que muitos destes sistemas estão inoperantes devido a erros no projeto inicial e à falta de mão de obra qualificada na operação da unidade de produção.

Este cenário evidencia que a aquisição, instalação, operação e manutenção de tecnologias inovadoras de tratamento de água ainda é um desafio para o Brasil.

3.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A norma brasileira (NBR) 10.004 (ABNT, 2004) define os resíduos provenientes de ETAs como resíduos sólidos, incluindo nesta definição os resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos resultantes de atividades de diversas origens. Também são assim classificados os efluentes líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água; ou ainda que exijam manejo cujas soluções sejam inviáveis técnica e economicamente, considerando as tecnologias de tratamento disponíveis.

Katayama (2012) conclui que o termo “resíduo sólido” é mais adequado para definir os resíduos provenientes do tratamento de água do que o termo “lodo”, que tende a possuir uma conotação negativa e imprópria quando consideradas as aplicações de reúso e reciclagem. No entanto, o termo “lodo” ainda é largamente utilizado na literatura para caracterizar os resíduos gerados em decantadores.

Os resíduos gerados em uma ETA dependem fundamentalmente do tipo de processo adotado para a potabilização da água. Segundo a AWWA (1987), os lodos gerados em ETAs podem ser divididos em quatro grandes categorias:

- Lodos gerados durante processos de tratamento de água visando à remoção de cor e turbidez. Os resíduos sólidos produzidos englobam os lodos acumulados nos decantadores ou, eventualmente, nos flotores com ar dissolvido e as águas de lavagens dos filtros.
- Lodos gerados durante processos de abrandamento.
- Lodos gerados durante processos de tratamento avançado visando à redução de compostos orgânicos presentes na água bruta, como carvão ativado granular saturado.
- Lodos gerados durante processos visando a redução de compostos inorgânicos presente na água bruta, como filtração em membrana.

Considerando os tratamentos mais empregados no Brasil (tratamento convencional e, em menor escala, filtração direta), as principais fontes de resíduos nas ETAs originam-se nas unidades de decantação e de filtração (água de lavagem). Em estações do tipo filtração direta, que não contempla o processo de decantação, o único resíduo gerado é o proveniente da lavagem dos filtros.

Outras fontes geradoras de resíduos podem ser identificadas na planta de uma ETA: lavagem de tanques e descarte de produtos químicos, limpeza de flocladores e canais de ligação de unidades, etc. Nestes casos, os volumes produzidos não são representativos. Deste modo, o foco desta discussão restringe-se aos resíduos oriundos das operações de sedimentação e filtração em processos de tratamento convencionais.

Outros fatores influenciam diretamente nas características e na quantidade dos resíduos gerados em ETAs, destacando-se:

- A característica da água bruta;
- O tipo e a dosagem de produtos químicos;
- O mecanismo de coagulação praticado,
- A eficiência do processo de coagulação-floculação;
- O tipo dos decantadores e seus sistemas de remoção de resíduos;
- A rotina operacional da ETA quanto ao descarte dos seus resíduos.

Considerados estes aspectos, apresenta-se a seguir um apanhado da literatura relativo à caracterização dos resíduos e seus impactos ao meio ambiente,

destacando sua importância na definição da tecnologia de tratamento para seu adequado manejo e disposição final.

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Segundo Katayama (2012), o princípio de remoção dos sólidos da fase líquida, o protocolo de operação da unidade e o tipo de produto químico aplicado interferem para geração de diferentes volumes e massas de resíduos. Numa ETA de ciclo completo os decantadores geram, em termos mássicos, a maior parte dos resíduos. Já em termos volumétricos, essa geração é predominantemente observada nos filtros, que demandam maior quantidade de água para sua lavagem.

As pesquisas realizadas pelo PROSAB (ANDREOLI, 2006) concluíram que a produção real de lodo nas ETAs varia constantemente, uma vez que incorporam as peculiaridades sazonais e regionais. Neste estudo o volume da produção de lodo variou entre 0,2% e 5% do volume total de água tratada pela ETA. Desse volume de lodo, a quantidade originária dos decantadores representou 60 a 95% da quantidade total, sendo o restante proveniente do processo de lavagem de filtros.

Segundo Libânio (2010), há grande variação nas características dos resíduos de decantadores quanto ao teor de sólidos (0,1 a 2%) e a produção volumétrica (0,5 a 2% do volume total de água produzido na ETA).

Howe *et al* (2012) estima que os resíduos líquidos, semissólidos e sólidos de uma ETA convencional representam de 3 a 5% do volume de água bruta afluyente a planta. Além disso, indica que menos de 10% dos sólidos desta ETA são removidos com a água de lavagem dos filtros. Já as águas residuais provenientes dos decantadores correspondem de 0,1 a 0,3% do volume de água bruta, com a incorporação da maior parcela de sólidos removidos.

Souza Filho e Di Bernardo (1999) informam que o volume médio diário de resíduos produzidos em ETAs convencionais varia entre 1 e 5% do volume de água tratada. Di Bernardo *et al* (2012) estima que as perdas observadas variam entre 1 e 3% para resíduos de decantadores, e entre 0,5 e 3% para resíduos de filtros.

Para fins de comparação com os resíduos em sistemas de tratamento de esgotos, já que não se identificou resultados para resíduos do tratamento de água, destaca-se que o teor de sólidos do lodo primário varia entre 2% e 6%, e sua produção é da ordem de 35 a 40g SS/(hab.dia) (ANDREOLI, 2001). Já o lodo

secundário proveniente dos processos de lodos ativados convencionais, também denominado lodo biológico, geralmente apresentam teor de sólidos entre 0,6 e 1,0 %, e uma produção típica de 25 a 35g SS/(hab.dia) (ANDREOLI, 2001).

Em processos de tratamento de esgotos que empregam processos físico-químicos (tratamento primário quimicamente assistido - TPQA ou CEPT), o lodo químico removido no decantador primário incorpora o coagulante empregado. Quando este é o sulfato de alumínio, estima-se uma massa *per capita* produzida de 60 g SS/(hab.dia) a 70 g SS/(hab.dia), com 65% a 68% de fração volátil. O volume produzido é da ordem de 2,0 a 7,0 L/(hab.dia). Quando o coagulante utilizado é o cloreto férrico, a produção de lodo aumenta em cerca de 10% a 12% se comparada ao sulfato de alumínio (TSUTIYA *et al*, 2001 *apud* FIGUEIREDO, 2009).

Ainda quanto a produção de lodo de esgotos, o volume *per capita* de lodo produzido em sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados convencional varia entre 3,1 e 8,2 L/hab.dia segundo Andreoli *et al* (2001),

3.2.1.1 Composição dos Resíduos e seu Tratamento Típico

Os resíduos gerados em ETAs constituem-se de água e dos sólidos suspensos originalmente contidos na fonte de abastecimento (água bruta), acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água durante o processo de tratamento, bem como suas impurezas (RICHTER, 2001) .

A composição dos resíduos de ETAs contempla percentuais de água superiores a 95%. Em ETAs de ciclo completo, o processo de coagulação-floculação provoca a aglomeração das partículas presentes na água bruta até chegarem à estrutura de um floco. O comportamento da água contida nos flocos não é homogêneo, apresentando dificuldade da sua extração. Reali (1999) sugere a seguinte classificação dessa água, apresentada em ordem crescente de dificuldade de separação:

- Água livre, de fácil remoção por não estar associada às partículas de sólidos;
- Água intersticial, aprisionada nos interstícios formados pelas partículas que compõem os flocos de sólidos;
- Água vicinal, vinculada às superfícies dos sólidos por forças intermoleculares atrativas;

- Água de hidratação, ligada quimicamente à superfície dos sólidos e praticamente não removível pelas tecnologias de desaguamento.

A remoção de água do lodo tem por objetivo facilitar o transporte e/ou disposição final dos resíduos do tratamento, e tal processo é realizado nas operações de adensamento e desidratação, detalhadas posteriormente.

Como já mencionado, as características físico-químicas dos resíduos (lodo) são influenciadas pelos produtos químicos usados durante o tratamento de água. O lodo de sulfato de alumínio é um fluido não-newtoniano, gelatinoso, cuja fração de sólidos é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides e resíduos orgânicos e microbiológicos. Estes lodos sedimentam com relativa facilidade, porém sua baixa compressibilidade resulta em grande volume e baixo teor de sólidos. O lodo proveniente do uso de coagulantes férricos tem características e constituição semelhantes, porém ao invés de hidróxido de alumínio, tem-se hidróxido de ferro (RICHTER, 2001).

Os resíduos de ETA apresentam grande variação das características, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Características físico-químicas de resíduos de ETAs brasileiras segundo diferentes autores

PARÂMETRO	ORIGEM DO RESÍDUO	RESÍDUOS DE ETAs BRASILEIRAS						
		Kawamura (2000)	Barroso (2009)	Barroso (2009)	Di Bernardo (2012)	Di Bernardo (2011)	Vidal (1990) apud Sena (2011)	Asada (2007) apud Sena (2011)
pH	Lavagem de Filtros	6,5-7,5	N/I	N/I	8,94	6,9	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	6-8	7,2	8,93	8,90	N/I	6,0-7,4	6,1
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		
COR APARENTE (Hz)	Lavagem de Filtros	N/I	N/I	N/I	N/I	310	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		
TURBIDEZ (UNT)	Lavagem de Filtros	150-250	N/I	N/I	N/I	58	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		

PARÂMETRO	ORIGEM DO RESÍDUO	RESÍDUOS DE ETAs BRASILEIRAS						
		Kawamura (2000)	Barroso (2009)	Barroso (2009)	Di Bernardo (2012)	Di Bernardo (2011)	Vidal (1990) <i>apud</i> Sena (2011)	Asada (2007) <i>apud</i> Sena (2011)
DBO (mg/L)	Lavagem de Filtros	2-10	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	30-300	N/I	N/I	N/I	N/I	449	47
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		
DQO (mg/L)	Lavagem de Filtros	30-150	N/I	N/I	N/I	35	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	30-5000	N/I	N/I	N/I	N/I	3487	1309
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		
RNFT ou SST (mg/L)	Lavagem de Filtros	N/I	N/I	N/I	555	59	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	N/I	26520	775	1569	N/I	21974	4255
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		
AI (mg/L)	Lavagem de Filtros	N/I	N/I	N/I	<0,01	0,30	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	N/I	11100	2,16	0,01	N/I	N/I	N/I
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	Lavagem de Filtros	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
	Descarga Diária Decantador	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	5,2
	Lavagem de Deacantador				N/I	N/I		

*N/I – Não informado pelo autor

Asada (2007) *apud* Sena (2011) destaca que a matéria orgânica contida no lodo de ETA é prontamente oxidável, porém de baixa biodegradabilidade, indicando o tratamento físico-químico destes resíduos. A variação de qualidade observada na tabela acima está relacionada com aspectos já levantados, tais como: qualidade da água bruta e suas variações sazonais; tipo e dosagem do coagulante utilizado; práticas operacionais adotadas para o processo de lavagem de filtros ou de remoção do lodo em decantadores; etc. Tal variabilidade dificulta o manejo e a disposição final destes resíduos. Dessa maneira, para a escolha da linha de tratamento do lodo, deve-se levar em conta, além da sua origem, a sua destinação final e requisitos mínimos de qualidade.

A remoção do lodo por sistema de descarga mecanizada ou hidráulica é feita de forma semicontínua e todas as operações unitárias envolvidas no tratamento devem

ser dimensionadas para trabalharem da mesma forma. Já os decantadores com descarga em batelada necessitam de sistemas que atendam a uma grande vazão de lodo, ou contemplem tanques de equalização/homogeneização.

Segundo Guimarães (2007), a determinação da série de sólidos tem sido a principal maneira de representar os resíduos de tratamento. A água de lavagem dos filtros é geralmente caracterizada por sua concentração de sólidos (em mg/L) e os lodos dos decantadores por seu teor de sólidos (em %). Como a maior parte da matéria presente nesses resíduos está em suspensão, os valores de SST tendem a ser bem próximos aos de ST. Os resíduos de decantadores respondem por aproximadamente 70% dos sólidos gerados em uma estação de tratamento (CORNWELL, 1999). Guimarães (2007) ressalta ainda que, do ponto de vista sanitário, a investigação microbiológica é fundamental na caracterização dos resíduos do tratamento de água sob os aspectos da saúde pública e de reúso.

Além dos parâmetros físicos, químicos e biológicos mencionados anteriormente, outras propriedades de natureza física, tais como filtrabilidade, resistência específica, sedimentabilidade, compressibilidade, tamanho e distribuição de partículas, são fundamentais na definição do método de remoção de água do lodo para redução de seu volume, na seleção do tipo de equipamento e nas condições operacionais da unidade de tratamento dos resíduos.

As etapas de tratamento dos resíduos de ETA são similares àquelas empregadas no manejo dos lodos de esgotos. A Tabela 8 apresenta os procedimentos aplicados ao tratamento de lodo de esgotos, com seus respectivos objetivos e características, os quais são aplicáveis ao resíduos de ETA.

Tabela 8: Etapas do tratamento do lodo de esgotos e seus principais objetivos

ETAPAS	PRINCIPAIS OBJETIVOS	CARACTERÍSTICAS
Condicionamento	Preparação para as etapas seguintes, particularmente para a desidratação (principalmente mecânica)	Influencia diretamente a eficiência dos processos mecanizados. Isto porque seu principal objetivo é aumentar o tamanho das partículas do lodo, por meio da união das pequenas partículas em agregados de partículas maiores, a fim de, com isso, melhorar as suas características de separação das fases sólido-líquidas do lodo. Esse processo dá-se através da adição de produtos químicos orgânicos ou inorgânicos ou, ainda, através de tratamento térmico.
Adensamento ou espessamento	Remoção de umidade (redução de massa e volume)	Consiste no aumento da concentração de sólidos em função da remoção de parte da água presente no lodo, processo esse que ocorre por meio dos adensadores, cujos tipos são: por gravidade, por flotação de ar dissolvido e mecanizados.
Desaguamento ou desidratação	Remoção de umidade (redução de massa e volume)	O desaguamento do lodo é uma operação unitária física que reduz o volume do lodo por meio da redução do seu teor de água. Os sistemas de desaguamento podem ser naturais ou mecânicos (centrífugas).
Higienização (Desinfecção)	Remoção de organismos patogênicos	Pode ser realizada por via térmica, química, biológica ou por radiação. Tem o objetivo de reduzir a concentração dos agentes patogênicos do lodo, em função do nível de contato com a população que esse lodo terá após sua destinação final, por exemplo, aquele destinado à aterros sanitários será submetido a um nível menor de exigência sanitária do que os destinados à parque e jardins.
Disposição final	Destinação final dos subprodutos	O resíduo seco proveniente do tratamento do lodo é disposto em locais adequados, usualmente em aterros sanitários.

*Não aplicável aos resíduos de ETAs

Fonte: Andreoli, 2001

Os lodos gerados na potabilização usualmente necessitam de adensamento prévio à desidratação. Jordão (2011) destaca que a função precípua do adensamento é reduzir o volume do lodo que será processado nas etapas posteriores do tratamento, reduzindo os custos de implantação e operação das unidades subsequentes. A Tabela 9 indica a faixa e o valor típico de teor de sólidos do lodo de esgotos depois de adensado e a eficiência da captura de sólidos pelos principais tipos de adensamento.

Tabela 9: Características do lodo adensado

TIPO DE ADENSADOR	ORIGEM DO LODO	TEOR DE SÓLIDOS %		CAPTURA DE SÓLIDOS %	
		FAIXA	TÍPICO	FAIXA	TÍPICO
Gravidade	Primário	4 à 10	6	85 à 92	90
	Misto	2 à 6	4	80 à 90	85
Flotação	Com químicos	4 à 6	5	90 à 98	95
	Sem químicos	3 à 5	4	80 à 95	90

Fonte: adaptado de METCALF E EDDY, 2003

Apesar da pequena variação do teor de sólidos do lodo antes e depois do adensamento, a quantidade de água removida pode ser suficiente para provocar uma redução significativa do volume de lodo. Além disso, essa água removida, também denominada sobrenadante, pode retornar ao sistema de tratamento de água. (KAWAMURA, 2000)

A variação do volume do lodo não mantém qualquer proporcionalidade com a redução do percentual da umidade, mas sim uma relação inversa com o teor de sólidos remanescente após o adensamento. A Figura 8 reproduzida a seguir mostra a variação do volume ocupado por uma amostra de lodo em função do seu teor de água e das propriedades físicas do lodo para cada faixa de umidade.

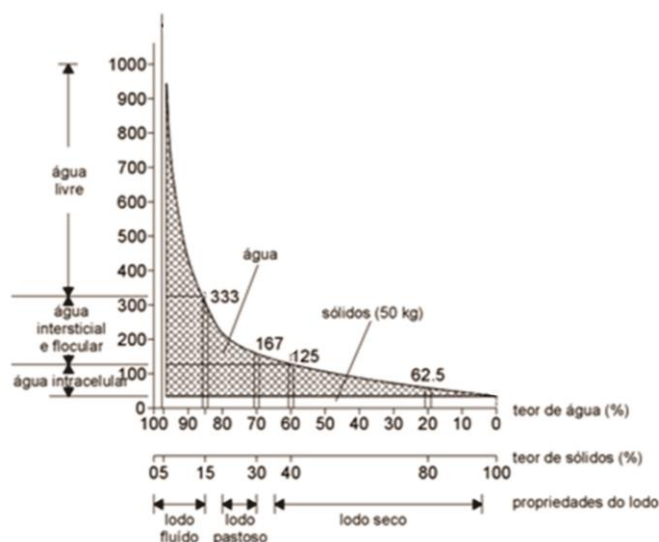


Figura 8: Variação do volume ocupado por uma amostra de lodo em função do seu teor de água e das propriedades físicas do lodo para cada faixa de umidade

Fonte: Adaptado de FERNANDES *et al*, 1999

Observa-se que inicialmente, qualquer redução do teor de água do lodo representa uma brusca variação no seu volume final, variação esta que reduz de acordo com o acréscimo do teor de sólidos do lodo.

As principais razões para aplicar o desaguamento em lodos, segundo Libânio (2010), são: 1) porque há uma redução do volume de lodo e por consequência uma redução do custo do transporte do lodo até a destinação final; 2) pelo fato de que os lodos desaguados são, de modo geral, mais fáceis e menos onerosos de manipular do que os lodos adensados ou *in natura*. Os sistemas de desidratação são classificados como naturais e mecânicos. A Tabela 10, baseada em Andreoli (2001), compara os principais métodos para desaguamento do lodo de esgotos e suas características.

Tabela 10: Principais métodos para desaguamento do lodo

CARACTERÍSTICAS	PROCESSOS NATURAIS		PROCESSOS MECANIZADOS			
	*LEITO DE SECAGEM	LAGOAS DE LODOS	CENTRÍFUGA	FILTRO A VÁCUO	PRENSA DESAGUADORA	FILTRO PRENSA
Demanda de área	+++	+++	+	++	+	+
Demanda de energia	-	-	++	+++	++	+++
Custo de implantação	+	+	+++	++	++	++
Complexidade operacional	+	+	++	++	++	+++
Demanda de manutenção	+	+	++	++	+++	+++
Complexidade de instalação	+	+	++	++	++	++
Influência do clima	+++	+++	+	+	+	+
Sensibilidade à qualidade do lodo	+	+	+++	++	++	++
Produtos Químicos	+	-	+++	+++	+++	+++
Complexidade de remoção do lodo	++	++	+	+	+	+

CARACTERÍSTICAS	PROCESSOS NATURAIS		PROCESSOS MECANIZADOS			
	*LEITO DE SECAGEM	LAGOAS DE LODOS	CENTRÍFUGA	FILTRO A VÁCUO	PRENSA DESAGUADORA	FILTRO PRENSA
Teor de ST na torta	+++	+++	++	+	++	+++
Ruídos e vibrações	-	-	+++	++	++	++

Legenda: + pouco, ++reduzido +++ grande, elevado, muito; - não há

*Ciclo de desaguamento de 30 dias

Fonte: ANDREOLI, 2001

Além desses sistemas mencionados por Andreoli (2001), pode-se realizar a desidratação natural com auxílio de *geotubes* ou *geobags*, que consiste no acondicionamento do lodo em container de geotêxtil, procedendo-se a drenagem da água e consequente retenção dos sólidos no seu interior.

A Tabela 10 mostra as principais vantagens da utilização dos processos de desaguamento mecanizados, comparando-os com os naturais. Andreoli (2001) diz que uma das vantagens é a demanda de menor área para sua instalação e a independência do fator clima. Como desvantagem ele cita que essas unidades demandam maior custo, além de produzir lodos com menores teores de sólidos.

Além disso, cabe observar que o método a ser utilizado deverá ser selecionado de acordo com o tipo de lodo a ser desaguado, as características desejadas para o resíduo desidratado, o espaço disponível para implantação da unidade de tratamento, e o destino final pretendido (JORDÃO, 2011; METCALF E EDDY, 2003). Cabe observar ainda que, dentre os processos naturais e mecanizados mais utilizados destacam-se respectivamente o leito de secagem e a centrífuga² (ANDREOLI, 2001).

O método de centrifugação consiste na separação forçada sólido-líquido do lodo pela ação da força centrífuga. É desejável que a centrífuga receba um lodo já adensado com teor de SST mínimo de 2% e dosagem de polímero entre 2 a 5 mg/g SST (DI BERNARDO *et al*, 2012). A água removida pela centrífuga, chamada de clarificado ou centrado, pode ser recirculada ao sistema de tratamento de água.

² A centrífuga é, hoje, o método mais utilizado pela CEDAE em ETAs de médio porte e, de acordo com Metcalf e Eddy (2003), ela é amplamente empregada na Europa e nos Estado Unidos.

Especificamente sobre as centrífugas desaguadoras, nota-se que o teor de sólidos da torta resultante dessa operação e a eficiência na captura de sólidos dependem, principalmente, do tipo de lodo e da adição de produtos químicos (condicionamento). A Tabela 11 resume estas características.

Tabela 11: Características de uma centrífuga para desaguamento

LODO	TEOR DE SÓLIDOS %		CAPTURA DE SÓLIDOS %	
	FAIXA	TÍPICO	FAIXA	TÍPICO
Com uso de químicos	10 à 35	22	85 à 98	92
Sem o uso de químicos	10 à 30	18	55 à 90	80

Fonte: adaptado de METCALF E EDDY, 2003

Metcalf e Eddy (2003) indicam que, se comparada com o uso de outros métodos, a centrífuga tem como principais vantagens: podem ser ligadas e desligadas rapidamente, a produção de tortas relativamente secas, a baixa relação capital-investimento e a alta relação capacidade-área construída.

Em contrapartida, como principais desvantagens, são apontados: o desgaste dos componentes em função da elevada velocidade de rotação, a necessidade de manutenção especializada e a produção de clarificado com sólidos em suspensão moderadamente altos.

A abordagem sobre a etapa de disposição final dos resíduos será feita no item 3.3.2.

3.2.1.2 Quantificação dos Resíduos

A quantificação do lodo produzido na ETA é fundamental para planejar a operação das suas unidades geradoras, projetar as estruturas para seu adequado manejo e avaliar a sua destinação.

Segundo Libânio (2010) a produção de resíduos em decantadores é inversamente proporcional à qualidade da água bruta em termos de cor e turbidez. Da mesma maneira, dosagens de coagulantes mais elevadas haverão de gerar

maior volume de precipitado. Consequentemente, no mecanismo de coagulação por varredura há formação de flocos maiores que apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas, gerando resíduos com maior teor de sólidos.

O tempo de detenção dos sólidos em decantadores que não possuem remoção mecanizada dos resíduos é mais elevado. De acordo com Guimarães (2010) a maioria das ETAs brasileiras não dispõe de sistema de remoção mecanizada, realizando seus descartes de lodo por batelada em um período geralmente superior a 30 dias. Sendo assim, há uma tendência natural dos lodos sofrerem um processo de adensamento, apresentando maior teor de sólidos. Para decantadores de alta taxa, a geração de despejo realiza-se sempre por batelada, sendo frequente a realização de descargas diárias do lodo gerado na rotina operacional das estações.

Segundo Cornwell (2006), no que diz respeito a ETAs existentes, os possíveis métodos para quantificação da produção dos resíduos, e em particular de sólidos, são: (a) formulações empíricas; (b) determinação direta em campo e (c) balanço de massa.

A pertinência de cada um dos três deve ser avaliada caso a caso, e, preferencialmente, mais de um método deve ser empregado ao mesmo tempo, de modo a permitir verificações cruzadas entre eles.

Alguns exemplos de estimativa da produção dos sólidos por formulações empíricas estão detalhados na Tabela 12. Todas as equações estimam a produção de sólidos em função da vazão afluyente (água bruta), da dosagem de coagulante e de outros produtos aplicados no tratamento, e da concentração de sólidos em suspensão na água bruta. Algumas equações consideram a variável turbidez como dado de entrada, uma vez que a determinação da concentração de sólidos suspensos (SS) não é rotineira em ETAs.

Tabela 12: Formulações empíricas para cálculo da produção de sólidos em ETAs

FORMULAÇÃO EMPÍRICA DA PRODUÇÃO DE SÓLIDOS		VARIÁVEIS	FONTE
(kg de matéria seca / m ³ de água bruta tratada)	(kg de matéria seca/dia)		
$P = 3,5 \times 10^{-3} \times T^{0,66}$	$W = 86400 \times P \times Q$	P – produção de sólidos (kg de matéria seca/m ³ de água bruta tratada) T – turbidez da água bruta (uT) W – quantidade de sólidos secos (kg/dia) Q – vazão de água bruta tratada (m ³ /s)	<i>AWWA (1978) apud Katayama (2012)</i>
$P = (SS + 0,07 \times C + H + A) \times 10^{-3}$	$W = 86400 \times P \times Q$	P – produção de sólidos (kg de matéria seca/m ³ de água bruta tratada) SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L) C – cor na água bruta (°H) H – hidróxido coagulante (mg/L) A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L) W – quantidade de sólidos secos (kg/dia) Q – vazão de água bruta tratada (m ³ /s)	<i>Water Research Center - WCR (1996) apud Katayama (2012)</i>
$P = (1,2 \times T + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3}$	$W = 86400 \times P \times Q$	P – produção de sólidos (kg de matéria seca/m ³ de água bruta tratada) T – turbidez da água bruta (uT) C – cor aparente da água bruta (uC) D – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L) A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)	<i>Association Francaise– AFEE (1983) apud Katayama (2012)</i>
$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3}$	$W = 86400 \times P \times Q$	P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m ³ 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)	<i>CETESB apud Saron e Leite (2001)</i>

FORMULAÇÃO EMPÍRICA DA PRODUÇÃO DE SÓLIDOS		VARIÁVEIS	FONTE
(kg de matéria seca / m ³ de água bruta tratada)	(kg de matéria seca/dia)		
$P = (0,44 \times AS + 1,5 \times T + A) \times 10^{-3}$	$W = 86400 \times P \times Q$	<p>P – produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)</p> <p>AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)</p> <p>T – turbidez da água bruta</p> <p>A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)</p> <p>W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)</p> <p>Q – vazão de água bruta tratada (m³/s)</p>	<i>Cornwell (1987) apud Saron e Leite (2001)</i>
$P = (D \times Fc1) + (T \times Fc2)$	$W = 86400 \times P \times 10^{-3} \times Q$	<p>P – produção de sólidos (g de matéria seca/m³ de água bruta tratada)</p> <p>D – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)</p> <p>Fc1 – fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio. Usualmente varia de 0,23 a 0,26</p> <p>Fc2 – razão entre a concentração de sólidos suspensos totais presentes na água bruta e turbidez da mesma.</p> <p>Q – vazão de água bruta tratada (m³/s)</p>	<i>Kawamura (1991) apud Katayama (2012)</i>
$P = (4,89 \times AI + SS + A) \times 10^{-3}$	$W = 86400 \times P \times Q$	<p>P – produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)</p> <p>SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L)</p> <p>AI – dosagem de sais de alumínio (mg/L)</p> <p>A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)</p> <p>W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)</p> <p>Q – vazão de água bruta tratada (m³/s)</p>	<i>ASCE (1996)</i>

As equações da Tabela 12 fornecem uma ordem de grandeza da massa diária de lodo seco gerado. A estimativa mais fidedigna pode ser feita valendo-se de ensaios de laboratório com amostras colhidas em campo.

A ausência de monitoramento periódico de SS em ETAs pode ser minimizada relacionando-se sua concentração de modo linear a turbidez, cuja medição é frequente, e pode ser automatizada com leituras em tempo real (ANKCORN, 2003). Katayama (2012) observa que a correlação entre SST e turbidez pode ser definida, mas é específica para cada água.

Segundo Libânio (2010), há uma correlação direta ($SS = bT$) entre estes dois parâmetros, SS e T, sendo que para águas naturais b varia de 0,7 a 2,2.

Saron e Leite (2001) conduziram um estudo sobre a aplicação dessas formulações empíricas (Tabela 12) utilizando dados médios mensais da ETA Guaraú. Seus resultados estão apresentados na Figura 9.

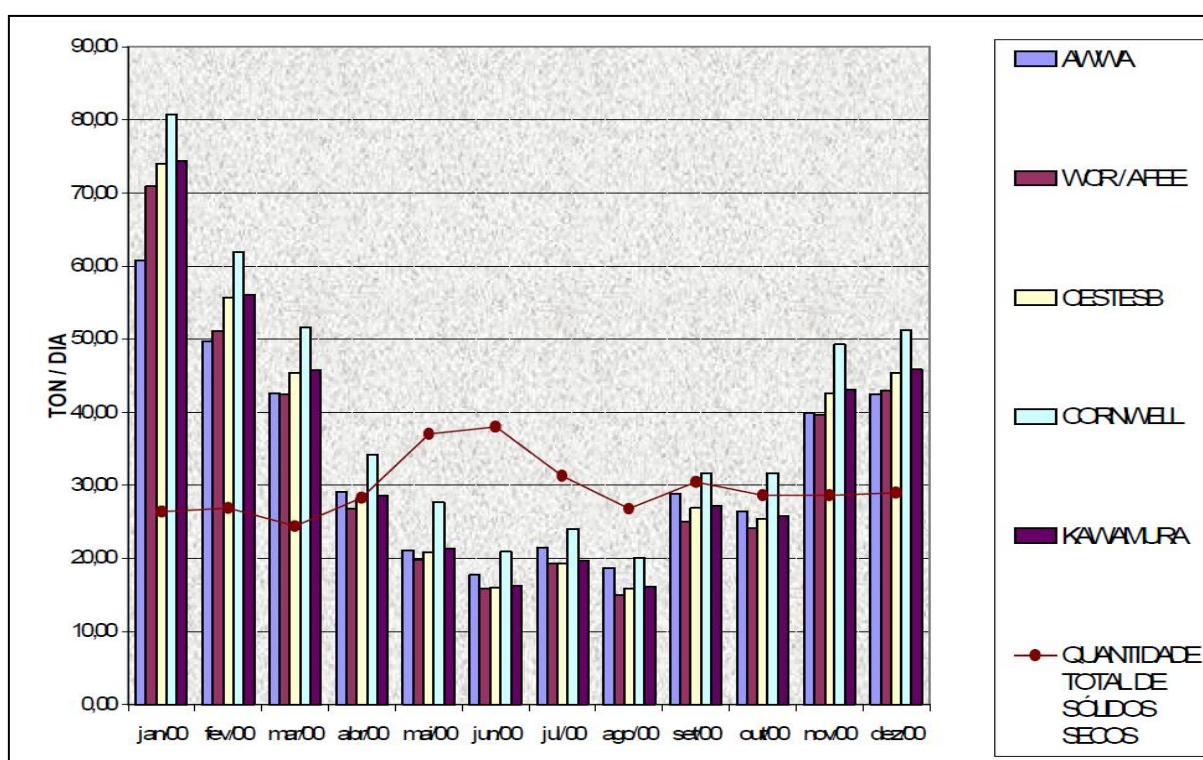


Figura 9: Variação mensal dos valores de sólidos secos obtidos pelas formulações empíricas
Fonte : Saron e Leite, 2001

A Figura 9 mostra em barras a variação dos valores de sólidos secos estimados pelas fórmulas e, em linha, o valor de sólidos secos efetivamente lançados no

córrego do Guaraú. Os resultados indicam que, para a qualidade de água considerada, não ocorreram diferenças entre a produção de sólidos determinada empiricamente pelas diversas fórmulas (nível de significância de 99%). No entanto, observou-se significativa divergência quando esses valores foram comparados com o que foi determinado experimentalmente. Destaca-se, como esperado, um maior acúmulo de lodos nos meses chuvosos previsto por todas as fórmulas. Contudo, este perfil de produção não foi caracterizado na prática pela vazão de descarte de lodo dos decantadores (SARON E LEITE, 2001). Os autores justificaram o ocorrido devido à operação e configuração da ETA, já que os lodos são removidos do decantador para poços de lodo para então serem extraídos por conjunto motor-bomba. A variação do teor de sólidos, então, passa a ser função do tempo de operação de cada bomba.

Uma opção para estimativa de produção de sólidos sugerida por Reali (1999) é baseá-la na taxa de produção de sólidos por vazão diária de água a ser tratada, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Faixa de produção de resíduos de ETA segundo o volume de água bruta

TIPO DE MANANCIAL	FAIXA DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS (g de sólidos secos / m³ de água bruta)
Água de reservatório com boa qualidade	12 - 18
Água de reservatório com média qualidade	18 - 30
Água de rios com qualidade média	24 - 36
Água de reservatório com qualidade ruim	30 - 42
Água de rios com qualidade ruim	42 - 54

Fonte: Reali(1999)

Essa estimativa de produção de sólidos não é precisa, e deve ser utilizada apenas como uma referência. Até mesmo autor afirma que as variações sazonais e a turbidez presentes na água influenciam a taxa de geração do lodo.

3.2.1.3 Balanço de Massa em ETAs

O balanço de massa é um dos possíveis métodos para quantificação da produção dos resíduos e de sólidos, a partir de condições estabelecidas de vazão e concentração de sólidos ou outro parâmetro afluente à ETA. Contudo, a vazão a ser tratada na ETA será composta pela vazão afluente adicionada às vazões de recirculação, que retornam ao início da ETA, como os sobrenadantes dos adensadores e clarificados de centrífugas.

O balanço de massa pode ser aplicado tanto para avaliar unidades isoladas da ETA ou o processo de tratamento como um todo de forma a considerar a influência das suas iterações.

No cálculo do balanço de massa são necessárias diversas iterações até que o incremento do parâmetro avaliado resultante da última iteração seja admitido como desprezível. Metcalf e Eddy (2003) admitem como aceitáveis valores inferiores a 5%, recomendando-se, no entanto, a realização de iterações até que se chegue a um acréscimo inferior a 1%.

Os parâmetros que tipicamente compõem o balanço de massa são: vazão média, DBO média e SST (METCALF E EDDY, 2003). Destaca-se que este método apresenta resultados confiáveis quando aplicado a sistemas cujos dados de entrada são levantados em campo. A utilização de dados teóricos e não práticos incorporam tantas incertezas como as fórmulas empíricas.

Os resultados dos balanços de massa são associados às alternativas de tratamento dos resíduos e sua destinação final.

3.2.2 IMPACTOS DOS RESÍDUOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE

Os mananciais utilizados para fins de abastecimento estão sujeitos à contaminação natural decorrente, por exemplo, da dissolução de rochas, ou por ação antrópica, tais como: aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo e disposição de resíduos sanitários e industriais (CORDEIRO & CAMPOS, 2012 *apud* ANDRADE *et al*, 2014).

O impacto do lançamento dos resíduos gerados nas ETAs em corpos d'água depende fundamentalmente das características do lodo e do corpo receptor. O impacto mais evidente está relacionado com aspectos estéticos decorrentes da abrupta elevação da cor e turbidez da água. Nessas condições, há a redução da

penetração de luz, resultando numa diminuição da atividade fotossintética, e da concentração de oxigênio dissolvido. Ressalta-se ainda o assoreamento e o aumento das concentrações de ferro, alumínio ou outros metais, relacionados aos produtos químicos específicos aplicados na ETA. Esse material, quando disposto em corpos d'água lênticos, pode ainda causar problemas na camada bentônica (FONTES, 2008).

Estudos realizados por Achon *et al* (2005), avaliaram o descarte do lodo *in natura* da ETA São Carlos/SP no rio Monjolinho, encontrando elevada concentração de metais (Al e Fe) que resultaram no comprometimento da camada bentônica. A elevada quantidade de sólidos, a alta turbidez, as altas concentrações de metais e a elevada carga orgânica foram considerados como os principais parâmetros que comprometeram o lançamento de lodo no corpo receptor. Outros impactos relevantes sofridos pelo rio Monjolinho foram observados: depleção da concentração de oxigênio dissolvido, alteração da biota aquática, mortandade da comunidade bentônica de invertebrados, mortandade de peixes e redução do volume útil do rio.

A carga orgânica, caracterizada pela DBO e DQO, contida no lodo pode contribuir para o consumo de oxigênio dissolvido no corpo d'água, levando a condições anaeróbias, produção de maus odores e mortandade de peixes e algas, além de afetar a camada bentônica.

A descarga de lodo com altos teores de alumínio no corpo receptor causa toxicidade do meio aquático. Segundo Von Sperling (2005), os efeitos do alumínio sobre a saúde humana são: constipação intestinal, perda de energia, cólicas abdominais, hiperatividade infantil, perda de memória, osteoporose, raquitismo, convulsões, dentre outros. Já o fósforo, quando lançado em ambientes lênticos, pode conduzir ao crescimento exagerado de cianobactérias, tornando a água tratada suscetível a presença indesejada de cianotoxinas.

Quanto aos poluentes biológicos, têm-se grande preocupação com a presença do patógeno *Cryptosporidium*. A infecção por esse parasita intestinal pode causar disfunção gastrointestinal, e pode gerar risco de vida para pessoas que estejam com sistema imunológico enfraquecido. Outro patógeno que é comumente removido pelo sistema de tratamento de água e retido no lodo é o protozoário *Giardia lamblia*, causador de infecções intestinais com sintomas de diarreia crônica, fraqueza e cólicas intestinais. A preocupação com esses patógenos é justificada tendo em vista

estudos que relatam epidemia de criptosporidiose nos Estados Unidos e Inglaterra, todos associados ao sistema de abastecimento de água local, alguns dos quais recirculam a água de lavagem dos filtros (ARORA *et al.*,2001).

Sendo assim, faz-se necessário o conhecimento dos aspectos legais para definição de estratégias gerenciais que objetivem a minimização de resíduos gerados na ETA, a viabilização do seu aproveitamento e sua adequada disposição final, sem que haja impacto sobre a qualidade dos corpos d'água.

3.3 ALTERNATIVAS DE MANEJO DOS RESÍDUOS

Os principais processos e operações unitárias que são empregados mundialmente para a gestão de resíduos de ETA resumem-se às etapas de adensamento, condicionamento, desidratação e disposição final, conforme apresentado no item 3.2.1.1. Porém, deve-se considerar ainda a possibilidade de recirculação dos efluentes líquidos gerados nos processos de descarga e lavagem de decantadores, lavagem de filtros, adensamento e desaguamento de lodos.

3.3.1 RECIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS

Em estações de tratamento convencionais é mais evidente o reúso via recirculação da água de lavagem de filtros, dadas suas características de qualidade e volume produzido. Este reúso pode ser classificado como direto, nos casos em que a recirculação ocorre sem qualquer tratamento prévio ou equalização da água de lavagem, ou indireto, quando este incorpora também o retorno do sobrenadante de adensadores e do clarificado produzido no desaguamento.

Deve-se atentar, independente do tipo de reúso praticado, para o elevado risco de contaminação destes efluentes por cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, uma vez que estes organismos são normalmente retidos e acumulados nas etapas de potabilização da água. Ao processar a limpeza/lavagem das unidades da ETA, os contaminantes são incorporados à água de reciclo.

Nos Estados Unidos, a norma *Filter Backwash Recycling Rule – FBRR* (USEPA, 2002) traz recomendações e exigências para a recirculação desses resíduos. Esta normativa não exige o tratamento prévio do recirculado, todavia recomenda que este seja submetido a um processo de separação de sólidos, sendo eles: sedimentação, flotação ou filtração em membranas.

No Brasil não existe qualquer requisito legal que regulamente essa prática, embora a norma NBR 12.216 (ABNT, 1992) admita a reutilização da água de lavagem, desde que esta seja submetida a pré-sedimentação e cloração intensa. Há ainda recomendação sobre o destino para o lodo dos decantadores, sujeito a disposições legais e aspectos econômicos. Essas recomendações, contudo, não tem sido observada pelas companhias de saneamento, sendo verificados casos com reciclo direto da água de lavagem. (GUIMARÃES, 2007)

Quando a taxa de recirculação é inferior a 10% torna-se dispensável o ajuste da dosagem de produto químico para a operação de coagulação no tratamento de água (KAWAMURA, 2000). Deste modo, com o objetivo de evitar impactos da recirculação sobre a operação da ETA, a FBRR recomenda que o retorno se dê em taxas inferiores a esse valor (10%), e que se faça preferencialmente de forma contínua. Neste caso, torna-se conveniente a implantação de reservatórios de equalização/homogeneização para o adequado controle operacional da recirculação.

Estudos destacam que a recirculação da água de lavagem dos filtros pode melhorar as condições de floculação e sedimentação (KAWAMURA, 2000). Na ETA-Guaráú, por exemplo, o reciclo propiciou uma redução de cerca de 10% no consumo de sulfato de alumínio (SARON E SILVA, 1997) . Essa economia é decorrente da presença de hidróxidos nos flocos retidos no filtros, que atuam como núcleos capazes de agregar partículas e impurezas.

Segundo Kawamura (2000), o tratamento dos resíduos de ETAs deve objetivar a produção de um clarificado a ser recirculado com qualidade similar à da água bruta. Di Bernardo *et al.* (1999a) recomendam ainda descartes eventuais da água de lavagem como operação necessária para minimizar a elevada concentração de impurezas no recirculado.

Edzwald e Tobiason (2001) avaliaram os impactos da recirculação da água de lavagem dos filtros (taxa de reciclo de 10%) em ETA piloto cuja última etapa da clarificação era uma unidade de flotação. Nessas condições não foram observados efeitos deletérios do reciclo sobre o desempenho da ETA para os parâmetros turbidez e *Cryptosporidium*.

Face ao risco de recirculação de patógenos, alguns autores recomendam a desinfecção do recirculado, geralmente efetuada por cloração (KAWAMURA, 2000 e USEPA, 2002). Caso a recirculação seja realizada em taxas inferiores a 3% e

dependendo da qualidade microbiológica da água recirculada, não se espera que haja formação de THMs decorrente da cloração (KAWAMURA, 2000). Este autor alerta, no entanto, para o risco da recirculação do clarificado produzido nos processos de desaguamento do lodo, tendo em vista o significativo aumento de compostos indesejáveis na vazão afluyente à estação, trazendo consigo riscos à saúde humana. Apesar disso, a FBRR permite a recirculação deste resíduo.

Destaca-se como exigência da FBRR a definição do ponto de injeção da água recirculada, locada antes da floculação, garantindo que a mistura cumpra minimamente as etapas de decantação, filtração e desinfecção. Estudos demonstraram que o processo de clarificação de água garante a remoção de 2-log (99%) de *Cryptosporidium*.

Entende-se, por fim, que o tema 'recirculação das águas residuais' requer estudos mais aprofundados de modo a fundamentar os projetos de implantação dessa prática nas ETAs brasileiras e subsidiar uma regulamentação consistente sobre esta prática.

3.3.2 ALTERNATIVAS DE USO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos de ETAs são gerados em grandes volumes e a forma de disposição tradicional tem sido lançamento *in natura* em corpos d'água, cujo impacto ambiental é sério e não condizente com os princípios de minimização e reúso. Afortunadamente, diversas alternativas para destinação destes resíduos têm sido objeto de estudos nos últimos anos. As principais propostas para usos benéficos dos resíduos sólidos secos oriundos de ETAs são:

- Recuperação de coagulantes

Considerando que 50 a 75% dos resíduos são compostos de hidróxido de ferro ou Alumínio, e que esses hidróxidos têm boa solubilidade em meios ácidos e alcalinos, um ajuste de pH permite a recuperação de coagulantes aplicados no tratamento. Portanto, a recuperação de coagulantes permite uma drástica redução do volume e massa do lodo, e possibilita a reutilização dos coagulantes recuperados. No tratamento de água, o coagulante recuperado apresenta eficiência similar ao produto comercial.

Guimarães (2005) *apud* Libânio (2010) informa que esse método permite a recuperação em torno de 75% do alumínio inserido na água bruta e a redução do

volume do lodo retido no decantador em torno de 40%. Como desvantagem destaca-se a impossibilidade da recuperação seletiva deste metal, carreando para o coagulante recuperado uma série de outros metais e matéria orgânica natural.

- Lançamento em sistemas de tratamento de esgotos

Essa é uma solução vantajosa do ponto de vista operacional. Entretanto, há uma transferência da responsabilidade do tratamento e disposição final do resíduo da ETA para a ETE. Devem ser avaliados os impactos decorrentes desta prática no sistema de coleta e transporte de esgotos e nos processos biológicos de tratamento da ETE, dentre eles a digestão do lodo.

Lodos de ETAs que utilizam sulfato de alumínio podem ser reciclados e utilizados como insumo para remoção de fósforo de efluentes de ETEs (CHAO; YABROUDI; MORITA, 2011).

Segundo estudos apresentados por Libânio (2010), o lançamento de resíduos contendo hidróxido de alumínio melhorou as características do sobrenadante de decantadores da ETE, entretanto verificou-se impacto negativo sobre o desenvolvimento de microrganismos metanogênicos do lodo produzido, inibindo os processos de digestão anaeróbia.

- Uso na agricultura ou em Recuperação de áreas degradadas

A aplicação no solo pode contribuir para maior retenção da umidade, mas há o risco de contaminação do lençol freático com metais existentes no lodo. Além disso, lodo com coagulante à base de alumínio apresenta capacidade de adsorver o fósforo, diminuindo assim a produtividade do solo (LIBÂNIO, 2010).

O resíduo de ETA pode ser usado na recuperação do solo, a fim de reabilitá-lo para o crescimento de plantas em áreas susceptíveis ou já comprometidas por processos erosivos como, por exemplo, locais que foram utilizados pela atividade de mineração (CORNWELL et al., 2000).

Segundo Katayama (2012), a aplicação de lodos de ETAs na agricultura não provoca impactos significativos ao crescimento das espécies vegetais, sendo relatados os seguintes benefícios: melhoria da estrutura do solo, ajuste do pH,

adição de traços de minerais, aumento da capacidade de retenção de umidade e aeração do solo.

Segundo Lederer e Rechberger (2010), há consenso sobre o efeito benéfico da aplicação de lodo contendo de baixa a média concentração de poluentes, usualmente originário de áreas não urbanizadas, sobre o solo e as plantas. Porém, sua exposição a metais pesados por um tempo prolongado pode introduzi-los na cadeia alimentar e afetar os microrganismos do solo.

- Reuso industrial como insumo em outros processos

Os resíduos de ETAs podem ser incorporados como matéria prima na fabricação de tijolos, material refratário, pavimentação de estradas, cimento. Entretanto, deve-se levar em conta o custo relacionado ao seu transporte e a quantidade de insumo requerido no processo fabril, contrapondo com a elevada produção destes resíduos.

Segundo Katayama (2012), a incorporação do lodo na fabricação de cimento é facilitada por aquele conter em sua composição substâncias (xisto, argila, minério de ferro e bauxita) que são adicionadas artificialmente neste aglomerante para ajuste de suas propriedades. O lodo de ETA pode ser introduzidos no processo de fabricação do cimento na fase de pré-homogeneização das matérias-primas, sendo necessário apresentar um teor de sólidos mínimo de 50%.

As principais características destes resíduos que podem comprometer ou inviabilizar esta aplicação são: presença de altas concentrações de matéria orgânica, antracito ou carvão ativado, sulfato, permanganato de potássio e metais pesados (CORNWELL, 2006).

As características físicas e químicas de lodos de ETAs são similares às dos materiais empregados na fabricação de tijolos, como as argilas. As grandes quantidades de lodos gerados nessas estações podem diminuir a quantidade de argila extraída das jazidas. Segundo Cornwell *et al.* (2000) *apud* Katayama (2012), a umidade contida no lodo de ETA é muito importante para o seu manuseio e incorporação no processo de obtenção de materiais cerâmicos, por isso os fabricantes preferem lodos com teor de sólidos superior a 20%.

- Recarga artificial de aquíferos

A recarga artificial pode ser praticada por meio de percolação e/ou bombeamento de água de reúso no aquífero, visando sua manutenção. Em áreas costeiras, como Los Angeles e Califórnia/EUA, há a injeção de efluentes tratados ao longo da costa, garantindo o nível mínimo de água no aquífero com o objetivo de impedir a intrusão salina (METCALF E EDDY, 2007).

- Disposição em aterro sanitário

A técnica de disposição final em aterro sanitário consiste na aplicação dos resíduos sólidos e semissólidos no solo, aplicando-se técnicas de engenharia para propiciar a máxima redução de volume e a ocupação da menor área possíveis, sem impor danos à saúde pública e à sua segurança ambiental (NBR 8419, 1992).

Quando se trata da disposição de lodo de ETA, o destino mais usual é o aterro sanitário, onde o lodo é co-disposto com outros resíduos, em sua maioria resíduos sólidos urbanos.

Jordão (2011) alerta que o teor de sólidos do lodo deverá ser de, pelo menos, 30% para não dificultar ou impedir a compactação e o trabalho das máquinas sobre o aterro. Porém, segundo estudos da CEDAE apresentados por Bielschowsky (2014), a maior parte dos aterros sanitários da Região Metropolitana do Rio de Janeiro recebe o lodo com qualquer teor de sólidos, e a cobrança é praticada de acordo com as faixas de teor de sólidos apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14: Estimativa Orçamentária para Disposição por Faixa de Teor de Sólidos

FAIXA DE TEOR DE SÓLIDOS (%)	ESTIMATIVA ORÇAMENTÁRIA PARA RMRJ
T.S > 60	R\$ 90,00 / ton
30 > T.S > 60	R\$ 110,00 / ton
T.S < 30	R\$ 160,00 / ton

Fonte: Bielschowsky, 2014

Cabe ressaltar que baixo teor de sólidos não só representa um maior custo unitário para disposição, mas também eleva seu custo final dado o maior volume de resíduo a ser transportado e disposto. Destaca-se, todavia, que essas despesas são relativamente baixas quando comparados com aquelas praticadas em alguns países desenvolvidos. Na Holanda, por exemplo, o custo de disposição do lodo em aterro sanitário é de aproximadamente 400 a 500 Euros por tonelada (VAN LIER, 2013 *apud* BIELSCHOWSKY, 2014).

Um levantamento feito por Walsh (2009) em 46 ETAs canadenses mostrou os principais destinos dados aos seus rejeitos líquidos e sólidos. Aproximadamente, metade das plantas auditadas (46% ou 21 plantas) eliminam seus resíduos líquidos em corpos hídricos. Dentre as duas opções de gerenciamento primário, a distribuição foi 36% (15 plantas) recirculam os resíduos líquidos na própria planta e 9% (4 plantas) encaminham para um sistema de esgotamento sanitário. As demais plantas direcionam suas vazões residuais líquidas para as águas subterrâneas (2 plantas), lagoas (2 plantas) e *wetlands* construídos (2 plantas).

Ainda, segundo Walsh (2009), quanto aos principais destinos dos resíduos sólidos, mais da metade das plantas (52% ou 24 plantas) os dispõem em aterros dentro das instalações da ETA ou em aterros sanitários. No entanto, 17 plantas (37%) reutilizam seus sólidos gerados, principalmente, em uso na agricultura ou em recuperação de áreas degradadas.

Já no Brasil, o tratamento e a destinação final dos resíduos de ETA nem sempre recebem a devida atenção dos projetistas e gestores de estações de tratamento de água, mantendo-se como alternativa prioritária sua disposição em aterros sanitários. Certamente essa postura se embasa nas experiências do setor no manejo do lodo de esgotos. Andreoli (2001) ressalta que, embora o lodo de esgotos represente apenas de 1% a 2% do volume de esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e o seu custo representa entre 20% e 60% do gasto total com a operação de tratamento de esgotos.

3.4 LEGISLAÇÃO

As restrições quanto ao lançamento, à reutilização e à disposição do lodo estabelecidas na legislação vigente são determinantes para definição do manejo do resíduo a ser adotado.

Quanto a classificação, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) define os resíduos de ETA como sólidos, e seu gerenciamento deve considerar seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Esta norma estabelece duas classes de resíduos, à saber: “I - Perigosos” e “II - Não perigosos”, sendo que a classe II pode ser subdividida em “II A - Não inertes” e “II B - Inertes”.

Em geral, os resíduos de ETA não possuem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade, sendo, portanto, enquadrados na “Classe II – Não perigosos”. Embora a patogenicidade seja uma característica dos resíduos “Classe I – Perigosos”, a NBR 10.004 despreza este critério para a classificação dos resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos. Guimarães (2007) infere que essa exceção seja estendida também aos resíduos do tratamento de água. Segundo o autor, quanto sua sub-classificação, os lodos de decantadores e a água de lavagem de filtros tendem a ser classificados como “Classe IIA – Não inertes”, tendo em vista as altas concentrações de alguns metais incorporados em sua estrutura, tais como o alumínio.

Di Bernardo *et al.* (1999a), após realizar ensaios de caracterização dos sedimentos da ETA Descalvado, em São Paulo, verificaram que o lodo em questão se tratava da “Classe II A – Não inertes”, devido às concentrações de alumínio, ferro e manganês presentes e superiores aos limites da norma para resíduo sólido inerte. Como restrição, tem-se a proibição do lançamento desses resíduos diretamente nos corpos d’água, devendo-se recorrer a processos adequados de tratamento e disposição final.

A norma NBR-12.216 (ABNT, 1992), que apresenta as recomendações para elaboração de projeto de ETAs para abastecimento público, não emite detalhadamente orientações relacionadas à reutilização e disposição final dos resíduos gerados. Seu conteúdo restringe-se à: elaboração dos projetos de drenagens e de esgotamento geral da ETA, indicação da sua disposição final, identificação do corpo receptor para o qual serão destinadas as descargas da ETA, definição da área prevista para disposição do lodo da ETA. Quanto a reutilização da

água de lavagem, esta deve ser submetida a pré-sedimentação e cloração intensa. Já em relação ao lodo dos decantadores, deve-se prever seu destino, considerando as disposições legais e aspectos econômicos.

Salienta-se que a NBR 12.216/1992 é uma norma antiga e por esse motivo suas recomendações não incorporam requisitos previstos leis posteriores a ela, tais como a Portaria 2914/2011 e as resoluções CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e CONAMA 396(BRASIL, 2008). Além disso, esta normativa não contempla avanços tecnológicos, como a filtração por membranas e a aplicação de processos oxidativos avançados (POA).

A resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011) dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água. Tendo em vista os resultados de qualidade apresentados na Tabela 7, pode-se verificar que tanto os lodos de clarificadores quanto a água de lavagem de filtros possuem qualidade fora dos limites estabelecidos por esta resolução para alguns parâmetros. Sendo assim, o lançamento desses resíduos em corpos d'água fere as exigências da legislação.

A resolução CONAMA 357 (BRASIL, 20105) dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Os principais usos previstos para água são: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, geração de energia elétrica, navegação, diluição e transporte de despejos. Ressalta-se que o enquadramento do corpo d'água não pode ser alterado devido ao lançamento de efluente. Na Tabela 15 encontra-se um resumo sobre a classificação das águas doces, considerando somente aquelas que permitem o uso deste recurso para fins de abastecimento público.

Tabela 15: Enquadramento dos corpos hídricos de água doce segundo a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005)

ÁGUAS DOÇES					
CLASSES	ESPECIAL	1	2	3	
USOS	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, - preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. 	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; - proteção das comunidades aquáticas; - recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; - irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e - proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. 	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; - proteção das comunidades aquáticas; - recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; - irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e - aquicultura e à atividade de pesca. 	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; - irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; - pesca amadora; - recreação de contato secundário; e - dessedentação de animais. 	
ALGUMAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA	DBO 5 dias a 20°C	Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.	< 3 mg/L O ₂	< 5 mg/L O ₂	< 10 mg/L O ₂
	OD		≥ 6 mg/L O ₂ , em qualquer amostra	≥ 5 mg/L O ₂ , em qualquer amostra	≥ 4 mg/L O ₂ , em qualquer amostra
	TURBIDEZ		< 40 UNT	< 100 UNT	< 100 UNT
	COR VERDADEIRA		nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L	< 75 mg Pt/L;	< 75 mg Pt/L;
	pH		6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0;
	SDT		< 500 mg/L	< 500 mg/L	< 500 mg/L
	ALUMÍNIO DISSOLVIDO		< 0,1 mg/L Al	< 0,1 mg/L Al	< 0,2 mg/L Al
	FÓSFORO TOTAL (ambiente intermediário e tributários diretos de ambiente lêntico)		< 0,025 mg/L P	< 0,050 mg/L P	< 0,075 mg/L P
	FÓSFORO TOTAL (ambiente lótico e tributário de ambiente intermediário)		< 0,1 mg/L P	< 0,1 mg/L P	< 0,15 mg/L P
	NITROGÊNIO AMONICAL TOTAL (7,5 < pH ≤ 8,0)		< 2,0 mg/L N	< 2,0 mg/L N	< 5,6 mg/L N
NITROGÊNIO AMONICAL TOTAL (8,0 < pH ≤ 8,5)	< 1,0 mg/L N	< 1,0 mg/L N	< 2,2 mg/L N		
FENÓIS TOTAIS (substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina)	< 0,003 mg/L de C ₆ H ₅ OH	< 0,003 mg/L de C ₆ H ₅ OH	< 0,01 mg/L de C ₆ H ₅ OH		

Fonte: adaptado de CONAMA 357, 2005.

No cenário estadual, o órgão ambiental do estado do Rio de Janeiro, INEA, tem critérios definidos para controle de efluentes e seu lançamento como parte integrante do sistema de licenciamento de atividades poluidoras.

A diretriz DZ-215 (INEA, 2007) estabelece exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária. Já a DZ-205 (INEA, 2007) estabelece exigências de controle de poluição

das águas que resultem na redução de matéria orgânica biodegradável, de matéria orgânica não biodegradável e de compostos orgânicos de origem industrial.

A norma técnica NT-202 (INEA, 1986) estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos.

A Tabela 16 resume os principais limites legais de lançamento para os parâmetros mais significativos para este estudo.

Tabela 16: Principais limites legais de lançamento

PARÂMETRO	VALOR MAIS RETRITIVO DA LEGISLAÇÃO
pH	5,0 a 9,0 ¹
COR APARENTE (Hz)	≤ 75 Pt/L ² (cor verdadeira)
TURBIDEZ (UNT)	≤ 100 UNT ²
DBO (mg/L)	≤ 40 mg/L ³
DQO (mg/L)	100 a 500 mg/L ⁴
RNFT ou SST (mg/L)	≤ 40 mg/L ³
Al (mg/L)	≤ 3,0 mg/L ⁵
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	≤ 1,0 mg/L ⁵

¹ Resolução CONAMA 430, 2011

² Resolução CONAMA 357, 2005

³ Diretriz INEA DZ-215, 2007

⁴ Diretriz INEA DZ-205, 2007

⁵ Norma INEA NT-202, 1986

Todo o arcabouço legal que envolve padrões de lançamento e requisitos mínimos para tratamento de lodos de ETA devem ser observados e incorporados na prática de projetos e operação dessas unidades de tratamento. O entendimento do risco ambiental historicamente praticado pelas estações de tratamento de água no Brasil, associado à crise hídrica atual, tornam emergenciais as adequações dos sistemas de abastecimento de água. Essas ações, ainda que não sejam requisições evidentes nas políticas públicas, é que permitirão a consecução das Políticas Nacionais de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997), Saneamento Básico (Lei 11.445/2007) e Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A CEDAE é responsável por operar e manter sistemas de tratamento e abastecimento de água de 63 dos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro (SNIS 2013 e IBGE, 2012). O segundo maior sistema de tratamento de água da CEDAE é o da ETA Laranjal, unidade objeto desta pesquisa e cujo detalhamento é apresentado a seguir.

4.1 APRESENTAÇÃO DA ETA LARANJAL

A ETA Laranjal garante o abastecimento de água potável aos municípios de São Gonçalo e Niterói, pertencentes a Região Metropolitana Leste do Rio de Janeiro, além do distrito Ilha de Paquetá, no município do Rio de Janeiro, e do distrito Itaipuaçu, no município de Maricá. A Figura 10 ilustra a área de atendimento da ETA Laranjal, que corresponde a uma população de cerca de um milhão e quinhentas mil pessoas.



Figura 10: Área de Atendimento da ETA Laranjal

Fonte: adaptado de Google Earth, 2015

gravidade por um percurso de aproximadamente 3500 m, exercendo a função de desarenador até chegar à elevatória de água bruta de Imunana.

A água bruta é recalçada e conduzida à ETA, percorrendo aproximadamente 15 km, através de quatro tubulações com diâmetros nominais de 800mm, 1.000mm, 1.400mm e 1.500mm. Essas tubulações também alimentam outras ETAs de menor porte no município de Itaboraí.

A ETA Laranjal tem vazão nominal de 7,0 m³/s de água bruta, assim distribuída: 3,0 m³/s na ETA nº 1 e 2,0 m³/s em cada uma das ETAs nºs 2 e 3. Entretanto, a produção atual limita-se a 6,0 m³/s uma vez que as ETAs nºs 2 e 3 ainda não alcançaram a vazão de projeto. Na pesquisa realizada tomou-se como premissa o estudo isolado da ETA nº 1. Ela foi escolhida como representativa para o estudo por se tratar da maior ETA entre as três em termos de vazão e dimensão, por ser a mais eficiente e, conseqüentemente, a maior geradora de volume de resíduos.

O tratamento realizado na ETA é do tipo completo, utilizando-se de processos e operações convencionais, que englobam as etapas de mistura rápida/coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, desinfecção, correção do pH e fluoretação. A conjugação dessas etapas garante a potabilização da água, atendendo integralmente à Portaria Nº 2914/2011. A operação destas unidades geram resíduos que devem ser adequadamente geridos. A Figura 12 apresenta a planta geral da ETA Laranjal com todas as unidades de tratamento da água.

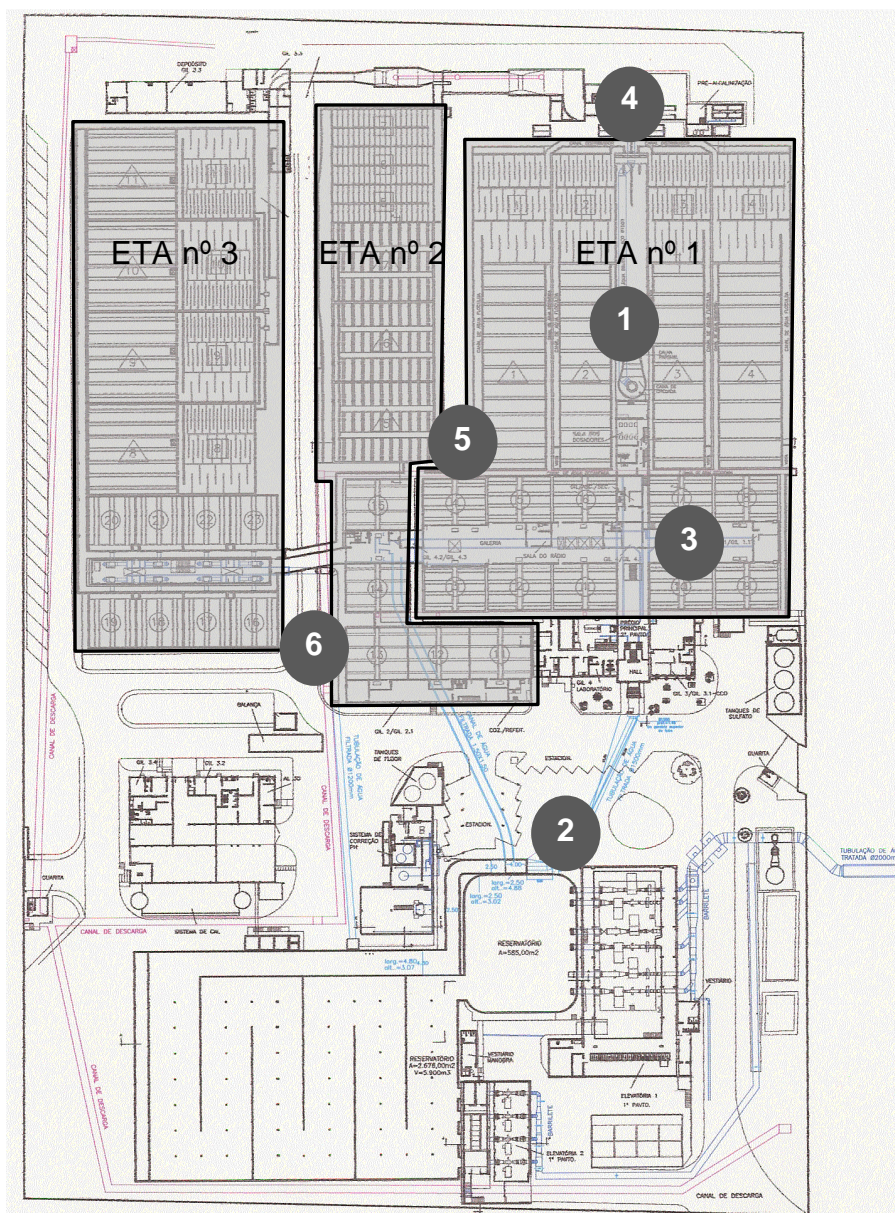


Figura 12: Planta Geral da ETA Laranjal
 Fonte: adaptado do arquivo da CEDAE

Os resíduos de decantadores e filtros, objetos de estudo desta pesquisa, são atualmente direcionados a dois canais de descarga e descartados num riacho afluente do Rio Alcântara. O rio Alcântara é considerado, segundo a resolução CONAMA 357/2005, como classe 2. O INEA faz o controle da qualidade das águas dos rios do estado do Rio de Janeiro e vem constatando ao longo do tempo que há violação do padrão CONAMA para diversos parâmetros neste rio. (INEA, 2015)

4.1.1 APRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA Nº1 DE LARANJAL

A ETA nº 1 de Laranjal possui o ciclo completo convencional de tratamento de água, sendo composta de quatro sistemas independentes quanto aos processos floculação-decantação, conforme ilustrado na Figura 13. A planta baixa da ETA nº 1, apresentada na Figura 14, enumera esses quatro sistemas e os filtros.



Figura 13: Unidades constituintes do processo coagulação, floculação, decantação da ETA nº 1

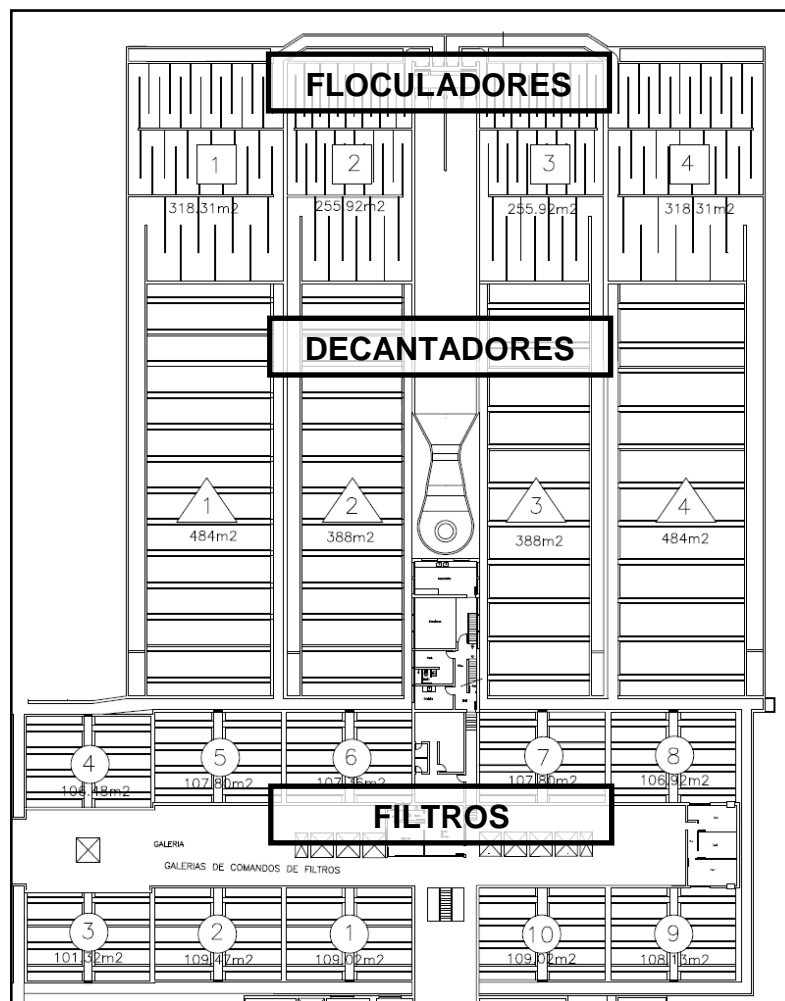


Figura 14: Planta baixa da ETA nº 1 de Laranjal
Fonte: Adaptado dos arquivos da CEDAE

A ETA 1 constitui-se das seguintes unidades/etapas de tratamento, apresentadas em sua ordem sequencial:

- 1 (uma) calha parshall, onde são inseridos na água bruta os coagulantes e polímeros, ocorrendo a coagulação. No processo de coagulação é utilizado o sulfato de alumínio líquido e um polímero aniônico;
- 4 (quatro) floculadores hidráulicos, que realizam a operação de mistura lenta para permitir a formação de flocos. As dimensões destes floculadores são diferentes, sendo 2 (floculadores 2 e 3) com área superficial de 255,92m² e os outros 2 (floculadores 1 e 4) com área superficial de 318,31m²;
- 4 (quatro) decantadores, que operam em fluxo ascendente nos módulos tubulares em PVC (lamelas) conforme ilustra a Figura 15. As dimensões destes

decantadores são diferentes, sendo 2 (decantadores 2 e 3) com área superficial de 388 m² e os demais (decantadores 1 e 4) com área superficial de 484 m²;

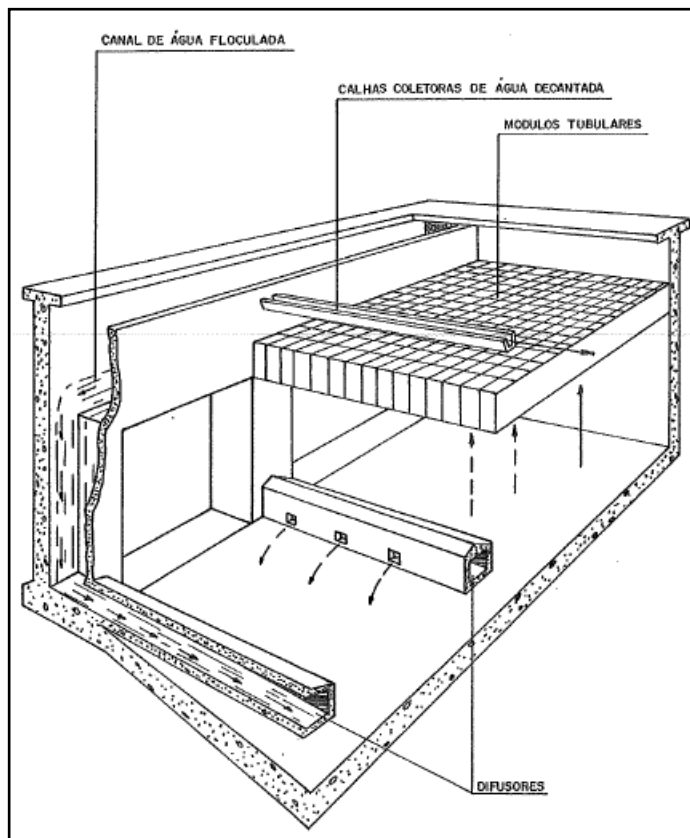


Figura 15: Perspectiva esquemática de um decantador
Fonte: Arquivos da CEDAE

- 10 (dez) filtros rápidos de areia de fluxo descendente. Destes, oito são mantidos em operação e dois em manutenção, num esquema de revezamento entre eles a fim de mantê-los sempre em condições de uso. A área superficial desses filtros é de 108 m².

As linhas geradoras de resíduos em volumes mais significativos encontram-se no processo de limpeza e manutenção dos decantadores e dos filtros como indica o fluxograma da Figura 16.

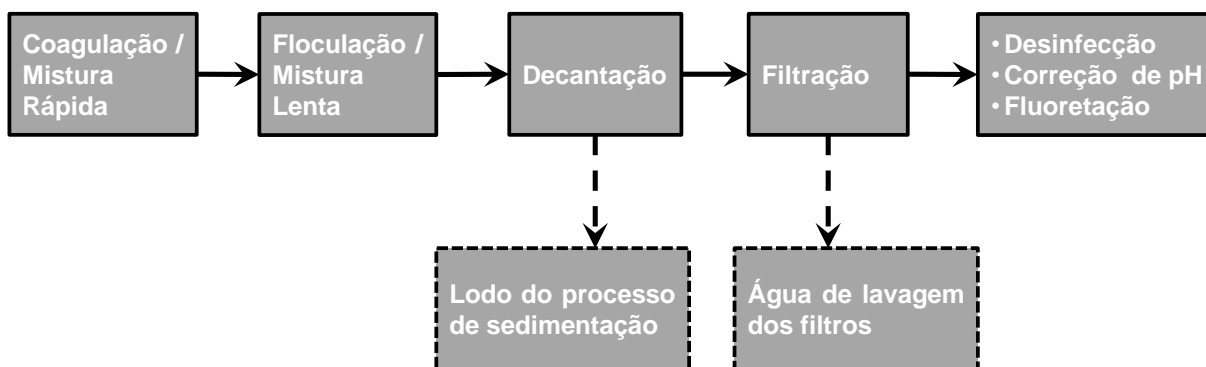


Figura 16: Fluxograma das principais linhas geradoras de resíduo na ETA nº1

A composição destes resíduos é uma mescla de fase sólida (massa) e fase líquida (volume). Sua caracterização é mister para conhecer a produção de resíduos em termos de massa e volume para permitir o estudo de alternativas de manejo deles através de um balanço de massa.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

O lodo é expurgado dos decantadores de duas formas: uma descarga diária de fundo durante três minutos, objetivando manter uma espessura constante da manta do lodo dentro do decantador e evitar que o excesso de lodo não interfira no processo de sedimentação; e uma lavagem mensal quando há o esgotamento do lodo e limpeza interna do decantador. A lavagem de cada tanque ocorre em dias alternados para não provocar redução na vazão de água produzida. Já os filtros são lavados numa operação de retrolavagem com água tratada em fluxo ascendente segundo intervalos de aproximadamente 24 horas.

Neste trabalho é adotada uma abreviatura para cada um desses resíduos citados, a saber:

ADD - água da descarga diária do decantador,

ARLD - água residual de lavagem mensal do decantador,

ARLF - água residual de lavagem de filtro.

A pesquisa foi desenvolvida com base em coletas periódicas do lodo e da água de lavagem dos filtros em pontos estrategicamente localizados na ETA nº 1, como representados na Figura 17, com base em análises físicas e químicas realizadas em laboratório e com base no monitoramento da vazão das linhas efluentes de resíduos

(ADD, ALD e ARLF) em um ponto do canal de descargas, intentando caracterizar os resíduos.

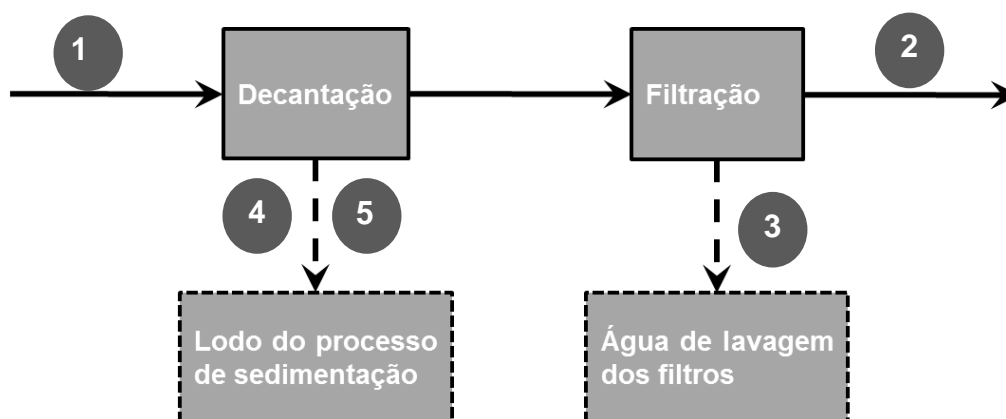






Figura 17: Fluxograma do dos pontos de coleta de amostras

4.2.1 DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

Foram selecionados cinco pontos de coleta de amostras e um ponto para monitorar as vazões descartadas por decantadores e filtros (Figura 17). Estes pontos estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17: Descrição do ponto, material e local de coleta

PONTO DE COLETA	TIPO DE ÁGUA COLETADA	LOCAL DE COLETA
1	Água bruta (AB)	Na calha Parshall logo após a entrada da AB.
2	Água Pós-filtragem (AF)	Em um registro na tubulação que liga os canais de água filtrada por todos os filtros da ETA nº1 ao reservatório de contato.
3	Água Residual de Lavagem de Filtro (ARLF)	Diretamente no filtro na operação de retrolavagem. 

PONTO DE COLETA	TIPO DE ÁGUA COLETADA	LOCAL DE COLETA
4	Água de Descarga de Decantador (ADD)	<p>No poço que interliga a tubulação de fundo do decantador ao canal de descarga. Esse poço fica localizado adjacente aos floculadores.</p> 
5	Água Residual de Lavagem de Decantador (ARLD)	<p>No canal de descarga exclusivo dos decantadores, o qual deságua no canal de descarga da ETA.</p> 
6*	ARLF, ADD e ARLD	<p>Canal de descarga dos efluentes das ETAs nºs 1 e 2.</p> 

* Controle de vazão.

Os pontos de coleta estão demonstrados na Figura 12 e na Figura 17, que identificam espacialmente os seis pontos de coleta na ETA nº 1. Os pontos 3, 4, 5 e 6 são referentes as linhas geradoras de resíduos.

4.2.2 PERÍODO E FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

O estudo de campo foi realizado na ETA nº 1 entre os dias 25 de setembro de 2013 e 26 de fevereiro de 2014, resultando em campanhas quinzenais (amostras da água de lavagem do filtro e da descarga periódica dos decantadores) e mensais (água de lavagem dos decantadores, água bruta e filtrada), conforme descrito na Tabela 18. O modelo do formulário de campo utilizado nas campanhas de coleta com as informações de cada amostra encontra-se no APÊNDICE A.

Tabela 18: Período e frequência de amostragem

PONTO DE COLETA	TIPO DE ÁGUA COLETADA	FREQUÊNCIA DE COLETA	PERÍODO DE AMOSTRAGEM
1	Água bruta (AB)	Mensal*	Out./13 a Fev./14
2	Água Pós-filtragem (AF)	Mensal	Out./13 a Fev./14
3	Água Residual de Lavagem de Filtro (ARLF)	Quinzenal	Set./13 a Fev./14
4	Água de Descarga de Decantador (ADD)	Quinzenal	Set./13 a Fev./14
5	Água Residual de Lavagem de Decantador (ARLD)	Mensal	Set./13 a Fev./14
6**	ARLF, ADD e ARLD	min. a min.	Dez./13 a Fev./14

* Neste estudo foi mensal, mas a ETA faz controle diário.

** Controle de vazão.

Buscou-se realizar uma pesquisa com duração de aproximadamente 6 meses, de forma a abranger o período tipicamente chuvoso e de altas temperaturas, que

usualmente apresenta maior variabilidade da qualidade de água bruta associada à maior demanda de água pela população.

4.2.3 PARÂMETROS ANALISADOS

Os parâmetros analisados foram selecionados de acordo com as resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011, as normas NT 202/1986, DZ 205/2007 e DZ 215/2007 do INEA, a norma NBR 10004/2004 da ABNT e Portaria 2914/2011 do MMA.

Destaca-se que a finalidade da escolha dos parâmetros foi estabelecer uma correlação entre os dados obtidos e:

- as variáveis para o cálculo do balanço de massa,
- o potencial poluidor dos efluentes segundo as legislações pertinentes e
- as variáveis para concepção do processo de tratamento e disposição dos resíduos.

Sendo assim, as análises das amostras foram processadas segundo os parâmetros: Cor aparente, pH, Turbidez, DQO, DBO, Série de Sólidos (RNFT, RNFF e RNFV), Alcalinidade, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Fósforo Solúvel, Alumínio, Sulfato, Ferro, Manganês, Níquel, Zinco e Chumbo.

4.2.4 METODOLOGIA DE COLETA E DE ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A metodologia para coleta de amostras foi baseada na norma NBR 10007 (ABNT, 2004). Foram coletadas amostras compostas representativas, respeitando as proporcionalidades dos diferentes tipos de água coletada (Tabela 19). Nos formulários de campo (APÊNDICE A) foram preenchidas todas as informações relativas a cada coleta efetuada.

Tabela 19: Número de amostras realizadas no trabalho de campo

PONTO DE COLETA	TIPO DE ÁGUA COLETADA	TIPO DE AMOSTRA	NÚMERO DE AMOSTRAS*
1	Água bruta (AB)	Composta	5
2	Água Pós-filtragem (AF)	Composta	5
3	Água Residual de Lavagem de Filtro (ARLF)	Composta	12
4	Água de Descarga de Decantador (ADD)	Composta	17
5	Água Residual de Lavagem de Decantador (ARLD)	Composta	7

*O número de amostras corresponde ao total coletado durante toda a campanha de coleta sem repetição, porém em alguns dias foram feitas coletas em mais de uma unidade de decantação e filtração.

Após coletadas as amostras, os frascos eram acondicionados em isopor com gelo e conduzidos para dois laboratórios distintos da própria companhia. Para tanto, cada amostra foi dividida em dois frascos distintos.

A metodologia utilizada na determinação analítica dos parâmetros foi baseada na 22ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA e WEF, 2012), exceto para DBO cuja referência foi o Manual do Meio Ambiente (FEEMA/INEA, 1983). A metodologia e as características dos equipamentos utilizados, quando necessário, em cada análise são:

- **Cor aparente:**

Metodologia: Espectrofotometria

Equipamento: Espectrofotômetro Vis; marca: MERCK; modelo: PHARO 100.

- **pH:**

Metodologia: Método potenciométrico com eletrodo de pH (pH-metro)

Equipamento: pHmetro; marca: Micronal; modelo: B474.

- **Turbidez:**

Metodologia: Turbidimetria

Equipamento: Turbidímetro; marca: HACH; modelo: 2100AN.

- **DQO:**

Metodologia: Análise colorimétrica

Equipamento 1: Reator de DQO; marca: Policontrol; modelo: Termo Digest.

Equipamento 2: Espectrofotômetro Vis; marca: MERCK; modelo: PHARO 100.

- **DBO:**

Metodologia: Método Winkler

Equipamento: Bureta digital automática; marca: BRAND; modelo: TITRETTE.

- **Série de Sólidos (RNFT, RNFF e RNFV):**

Metodologia: Gravimetria

Equipamento 1: Estufa para secagem; marca: ICAMO; modelo: 4.

Equipamento 2: Forno mufla; marca: EDG; modelo: F1800.

Equipamento 3: Balança analítica; marca: Bel; modelo: Mark 210A.

Equipamento 4: Bomba a vácuo; marca: NOVATERMICA; modelo: NT613.

- **Alcalinidade:**

Metodologia: Titulação potenciométrica

Equipamento: Titulador Potenciométrico; marca: Metrohm; modelo: 905
Titrandos.

- **Nitrogênio Total:**

Metodologia: Filtração da amostra e análise por cromatografia iônica

Equipamento: Cromatógrafo Iônico; marca: Metrohm; modelo: 850
Professional.

- **Fósforo Total:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES)

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin
Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

- **Fósforo Solúvel:**

Metodologia: Filtração da amostra e análise por cromatografia iônica

Equipamento: Cromatógrafo Iônico; marca: Metrohm; modelo: 850
Professional IC.

- **Alumínio Total:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no ICP-OES

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin
Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

- **Sulfato:**

Metodologia: Análise por cromatografia iônica

Equipamento: Cromatógrafo Iônico; marca: Metrohm; modelo: 850 Professional IC.

- **Ferro:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no ICP-OES

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

- **Manganês:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no ICP-OES

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

- **Níquel:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no ICP-OES

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

- **Zinco:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no ICP-OES

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

- **Chumbo:**

Metodologia: Digestão ácida e análise no ICP-OES

Equipamento: Espectrômetro de Emissão em Plasma - ICP; marca: Perkin Elmer; modelo: Optima 7300 DV.

4.2.5 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA Nº1

O objetivo de quantificar os resíduos da ETA nº1 foi o cálculo do balanço de massa.

A metodologia utilizada para quantificação dos resíduos foi dividida em: (a) monitoramento da vazão dos resíduos gerados na ETA nº1 para posterior determinação do seu volume, e (b) determinação da massa de sólidos secos, cujo resultado exclui a parcela de água contida nesse volume.

A vazão dos resíduos descartados na lavagem dos filtros (ARLF), na descarga (ADD) e na lavagem dos decantadores (ARLD) foi calculada com base nos dados do nível de água no canal de descarga por onde estes escoam. Há um equipamento medidor de nível instalado no ponto de amostragem nº 6 (Tabela 17) para o controle de vazão no canal. Esse equipamento é um transmissor ultrassônico para nível de 0 a 6m, cujo fabricante é NIVETEC. O levantamento dos dados foi realizado em intervalos de um minuto. O período da amostragem e o número de amostras são informados na Tabela 20.

Tabela 20: Informações da coleta de dados de nível do canal de descarga

PONTO DE COLETA	FREQUÊNCIA DE COLETA	PERÍODO DE AMOSTRAGEM	NÚMERO DE AMOSTRAS
6	min. a min.	Dez./13 a Fev./14	~125.000

O canal de descarga possui uma barragem delgada transversal, sendo o equipamento instalado a montante deste vertedor a uma distância de 1,5m. De posse do plano de operação e manutenção da ETA, identificou-se o momento de descarga de cada resíduo e, com isso, foi possível correlacionar a elevação do nível com o tipo de resíduo descartado.

Os dados de nível foram transformados em vazão e, posteriormente, em volume com auxílio da Equação 1 (fórmula de Francis), aplicada a vertedores retangulares de paredes delgadas e sem contrações.

$$Q = 1,838 L H^{3/2}$$

Equação 1

onde,

L – largura do canal de descarga (m), equivalente a 1,50 m;

H – nível de água sobre a crista do vertedor (m). A crista do vertedor está na cota + 30 cm;

Q – vazão de água (m³/s).

As vazões médias obtidas para cada linha geradora foram utilizadas no cálculo do balanço de massa detalhado no item 4.2.6 a seguir.

O cálculo da quantidade de sólidos contidos em cada linha geradora de resíduo foi feito segundo as fórmulas empíricas apresentadas no item 3.2.1.2 da Revisão Bibliográfica e também baseado nos resultados experimentais. Neste caso, a produção de sólidos é determinada pelo produto entre vazão e concentração média de sólidos totais (RNFT) da linha geradora. Com essas informações aplicadas à Equação 2, torna-se possível determinar a parcela de sólidos secos contida no resíduo, denominada teor de sólidos (TS).

$$TS = \frac{M}{V \cdot \rho \cdot \gamma} \quad \text{Equação 2}$$

onde,

TS – teor de sólidos (%);

M – massa de sólidos secos (kg/dia);

V – volume do resíduo (m³/dia);

ρ – densidade do resíduo;

γ – massa específica da água, igual a 1000 kg/m³.

Com o propósito de se quantificar a perda de água (consumo da estação) atual na ETA nº1 de Laranjal, adotou-se o índice de perda física (PF), expresso por:

$$PF = \frac{(V_{ARLD} + V_{ADD} + V_{ARLF})}{V_{AB}} \cdot 100 \quad \text{Equação 3}$$

onde,

PF – índice de perda física na ETA nº1 (%);

V_{ARLD} – volume de efluente gerado na lavagem mensal dos decantadores (L/dia);

V_{ADD} – volume de efluente gerado na descarga diária dos decantadores (L/dia);

V_{ARLF} – volume de efluente gerado na lavagem diária dos filtros (L/dia);

V_{AB} – volume de água bruta aduzida (L/dia).

4.2.6 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DA ETA N^o1

A quantificação dos resíduos na ETA n^o1 utilizou como ferramenta o balanço de massa, que expressa a relação entre a massa seca de sólidos e o volume de lodo úmido. No caso, foi considerada a geração do lodo nas etapas de decantação e filtração até as etapas de recirculação, desidratação e destinação final do lodo para aterro sanitário. O fluxograma da ETA n^o 1 com as variáveis consideradas no cálculo do balanço de massa estão caracterizados na Figura 18.

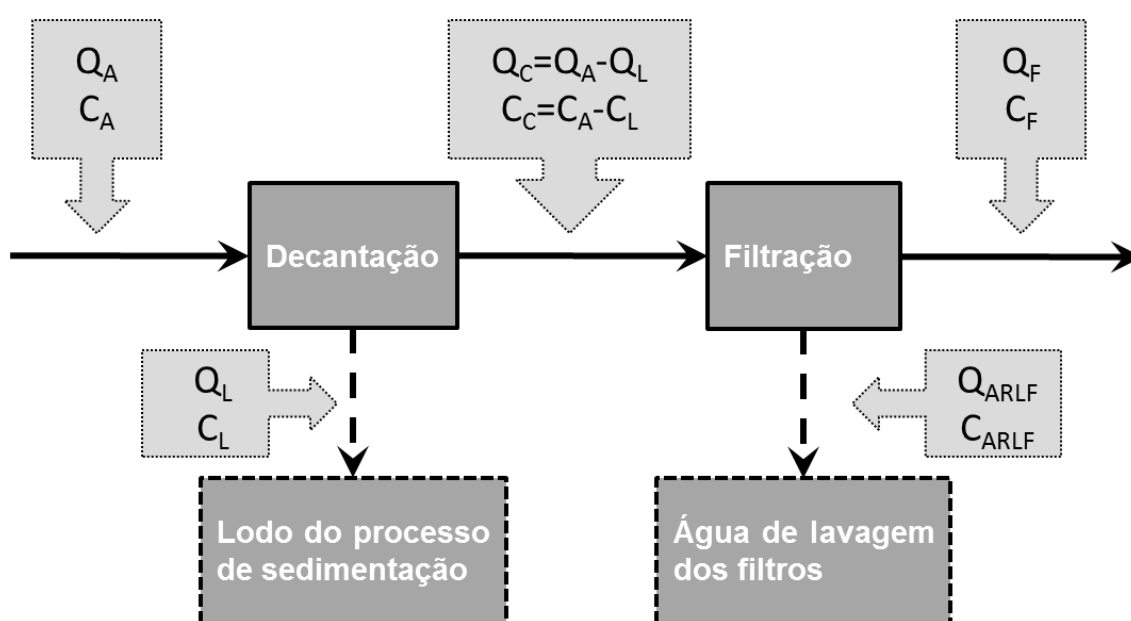


Figura 18: Fluxograma do balanço de massa e as respectivas variáveis

Para os cálculos de balanço de massa, adotaram-se as seguintes variáveis e premissas:

- Q_A - vazão afluente aos decantadores,
- C_A - concentração dos poluentes afluente aos decantadores,
- Q_L - vazão descartada com o lodo,
- C_L - concentração dos poluentes descartados com o lodo,
- Q_C - vazão da água clarificada,
- C_C - concentração dos poluentes da água clarificada,
- Q_F - vazão da água filtrada,
- C_F - concentração dos poluentes da água filtrada,
- Q_{ARLF} - vazão da água descartada na lavagem dos filtros,

- C_{ARLF} – concentração dos poluentes da água descartada na lavagem dos filtros.
- A vazão e massas afluentes aos decantadores, Q_A e C_A , são iguais às da água bruta, assumindo-se como desprezível a parcela de carga orgânica e de sólidos removidos na caixa de entrada e nos floculadores quando comparados aos decantadores e filtros;
 - Para o cálculo da vazão e massas removidas com o lodo sedimentado, Q_L e C_L , considerou-se que a vazão Q_L é equivalente a vazão de descarga diária da ADD somada a um trinta avos da vazão de lavagem mensal da ARLD;
 - A vazão de água filtrada, Q_F , é igual a vazão produzida pela ETA, medida na elevatória de recalque.
 - A vazão e a massa da água clarificada, Q_C e C_C , são iguais a diferença entre o total afluente aos decantadores, Q_A e C_A , e a parcela descartada com o lodo, Q_L e C_L .
 - Taxa de remoção de sólidos, determinada a partir dos dados experimentais do presente estudo: 91% no decantador, sendo 64% na ARLD e 27% na ADD; 94% no filtro (ARLF).
 - Taxa de remoção de sólidos, adotados com base na literatura (item 3.2.1.1 da Revisão Bibliográfica): 90% no adensador; 92% na centrífuga.
 - Teor de sólidos, adotados com base na literatura (item 3.2.1.1 da Revisão Bibliográfica): 6% na torta adensada; 22% na torta centrifugada.
 - Densidade dos efluentes, determinada a partir dos dados experimentais: 1,010 para efluente de decantador (ARLD e ADD); 1,005 para efluente de filtro (ARLF).
 - Densidade dos efluentes, adotados com base na literatura (METCALF & EDDY, 2003): 1,030 para torta adensada; 1,060 para torta centrifugada.
 - Densidade das águas bruta, clarificada e filtrada: 1,000; 1,000 e 1,000, respectivamente.
 - O peso de polímeros ou outros condicionantes químicos que possam ser adicionados no tratamento dos resíduos (desaguamento) não foram considerados nesta análise.

As alternativas de manejo para o tratamento dos resíduos potencialmente viáveis foram identificadas junto aos gestores da ETA Laranjal. Nesta etapa excluíram-se as

soluções que demandassem maior área para sua implantação (leitos de secagem, *geobags*, etc.). As alternativas de manejo consideraram então o reúso das três águas residuais (ARLF, ADD e ARLD) e o grau de desidratação do lodo alcançado pela conjugação dos processos de adensamento e centrifugação. O destino da água efluente do processo de desidratação foi sempre a recirculação integral para a cabeceira da ETA.

As rotas de manejo estabelecidas neste estudo são:

- Rota A (Figura 19)

- Quanto ao reúso: Mistura das três águas (ARLF, ADD e ARLD) com recirculação direta delas para a cabeceira da ETA;
- Quanto ao grau de desidratação: Sem processo de desidratação;

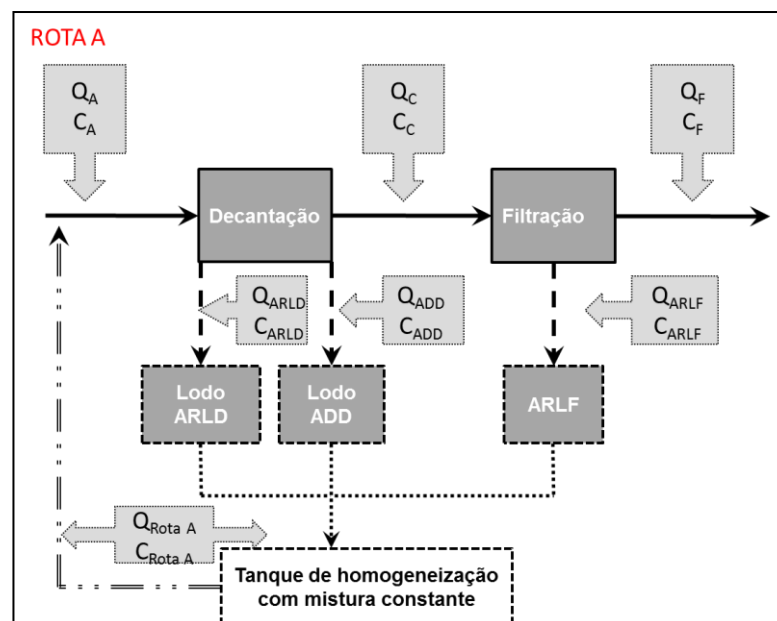


Figura 19: Rota de manejo A, proposta sem reaproveitamento dos resíduos

- Rota B (Figura 20)

- Quanto ao reúso: Mistura de duas águas (ARLF e ADD) com recirculação direta dessas para cabeceira da ETA;
- Quanto ao grau de desidratação da ARLD: torta centrifugada com TS igual a 22% sólidos; sobrenadante do adensador e clarificado da centrifugação recirculado para cabeceira da ETA;

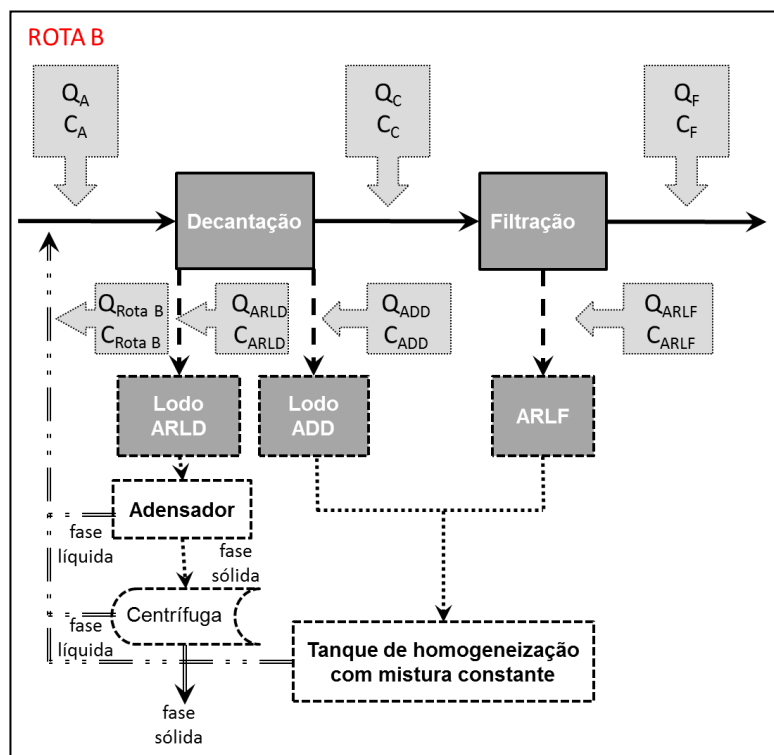


Figura 20: Rota de manejo B, proposta com recirculação direta de ADD e ARLF e tratamento de ARLD

- Rota C (Figura 21)

- Quanto ao reúso: Mistura de duas águas (ARLF e ARLD) com recirculação direta delas para cabeceira da ETA;
- Quanto ao grau de desidratação da ADD: torta centrifugada com TS igual a 22% sólidos; sobrenadante do adensador e clarificado da centrifugação recirculado para cabeceira da ETA;

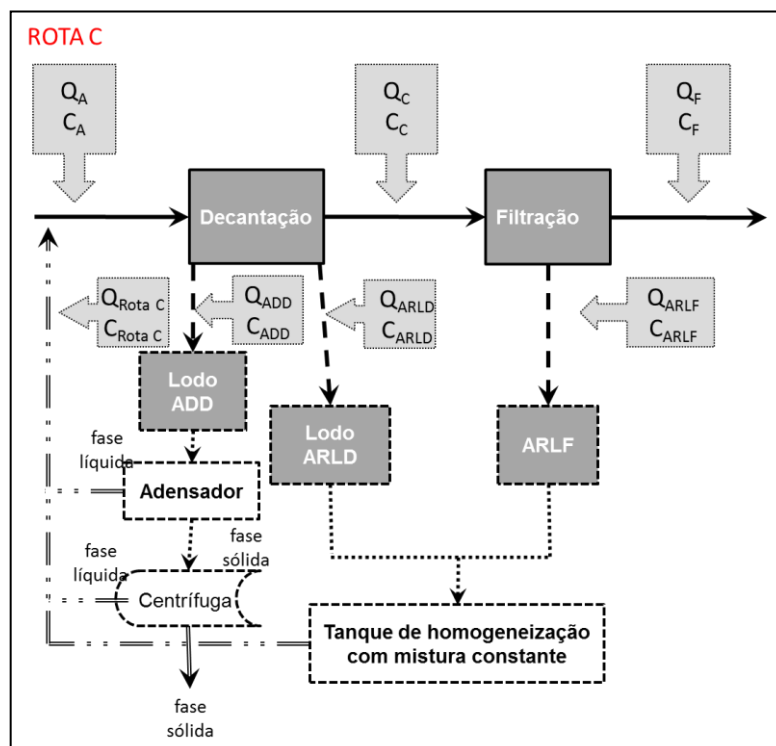


Figura 21: Rota de manejo C, proposta com recirculação direta de ARLD e ARLF e tratamento de ADD

- Rota D (Figura 22)

- Quanto ao reúso: Somente a água ARLF com recirculação direta dela para cabeceira da ETA;
- Quanto ao grau de desidratação da ADD + ARLD: torta centrifugada com TS igual a 22% sólidos; sobrenadante do adensador e clarificado da centrifugação recirculado para cabeceira da ETA;

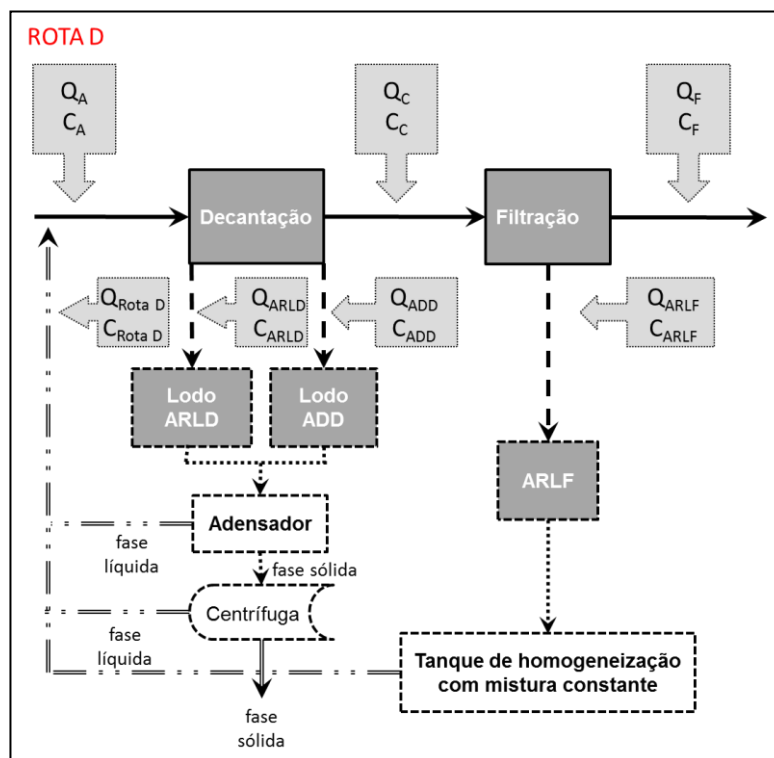


Figura 22: Rota de manejo D, proposta com recirculação direta de ARLF e tratamento de ADD e ARLD

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados relacionados aos objetivos propostos por este trabalho, segundo as metodologias apresentadas no capítulo 4.

Todos os dados utilizados para compor a síntese das tabelas e figuras deste capítulo são parte integrante dos APÊNDICE B, APÊNDICE C e APÊNDICE D.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA

5.1.1 CARACTERÍSTICA QUALITATIVA DOS RESÍDUOS

O tratamento estatístico para os principais parâmetros de qualidade determinados para os resíduos ARLF, ADD e ARLD está resumido na Tabela 21.

Ressalta-se que, apesar do período do ano em que foram realizadas as campanhas de campo ser tipicamente de maior pluviosidade, excepcionalmente esta estação foi marcada pela escassez hídrica no sudeste brasileiro.

Tabela 21: Análise estatística dos principais parâmetros das águas residuais geradas na ETA Laranjal (ARLF, ADD e ARLD).

ESTATÍSTICA PARÂMETRO	Origem do resíduo	Número de dados	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação
Ph	ARLF	11	7	6	9	0,16
	ADD	15	7	6	11	0,18
	ARLD	7	7	6	8	0,07
COR APARENTE (Hz)	ARLF	11	108	26	391	1,02
	ADD	15	1825	21	12410	1,65
	ARLD	7	6967	744	15000	0,70
TURBIDEZ (UNT)	ARLF	10	81	23	381	1,32
	ADD	15	2000	190	9600	1,50
	ARLD	7	10823	7450	15000	0,27
DBO (mg/L)	ARLF	9	11	2	22	0,78
	ADD	14	50	3	137	0,78
	ARLD	6	117	30	218	0,59
DQO (mg/L)	ARLF	9	60	45	91	0,28
	ADD	14	443	41	1789	1,07
	ARLD	7	2538	356	8827	1,16
RNFT ou SST (mg/L)	ARLF	9	166	74	393	0,60
	ADD	14	2077	188	8000	0,99
	ARLD	6	8556	970	16540	0,69

ESTATÍSTICA PARÂMETRO	Origem do resíduo	Número de dados	Média	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação
Al (mg/L)	ARLF	11	13,5	4,5	35,1	0,74
	ADD	14	404,2	31,4	2460,0	1,90
	ARLD	7	1189,1	0,5	2506,7	0,78
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	ARLF	10	0,29	0,08	0,74	0,76
	ADD	14	7,13	1,00	41,66	1,48
	ARLD	6	28,46	0,13	90,98	1,13

Para todos os parâmetros apresentados, as concentrações são menores para a ARLF, intermediárias na ADD, e maiores quando se trata da ARLD. Quanto ao pH, observa-se que a média para as três linhas geradoras de resíduos é caracteristicamente neutro.

Como em estatística, o coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa à média e representa o desvio-padrão expresso como porcentagem, quanto menor for o coeficiente de variação, mais homogêneo será o conjunto de resultados.

Ao interpretar os dados apresentados na Tabela 21 pode-se afirmar que os parâmetros físicos (cor, turbidez e série de sólidos) da ARLD são estáveis (menor valor do coeficiente de variação) para as amostras avaliadas durante esta pesquisa. A ARLD é gerada pela acumulação de resíduos no decantador ao longo de um período de tempo definido pela limpeza desta unidade. Sendo assim, suas características refletem o histórico da água bruta clarificada neste mesmo período.

Já a ARLF e ADD apresentam um maior coeficiente de variação, caracterizando maior heterogeneidade desses resíduos.

Para melhor avaliar os dados obtidos, incluindo as águas bruta e filtrada, elaborou-se os diagramas *box-plot*, apresentados na Figura 23. Nestes diagramas o eixo y dos gráficos está em escala logarítmica para melhor visualizar os dados de todas as águas simultaneamente. Também foram identificados nesta figura os valores máximos permitidos pela legislação vigente para cada um dos parâmetros apresentados.

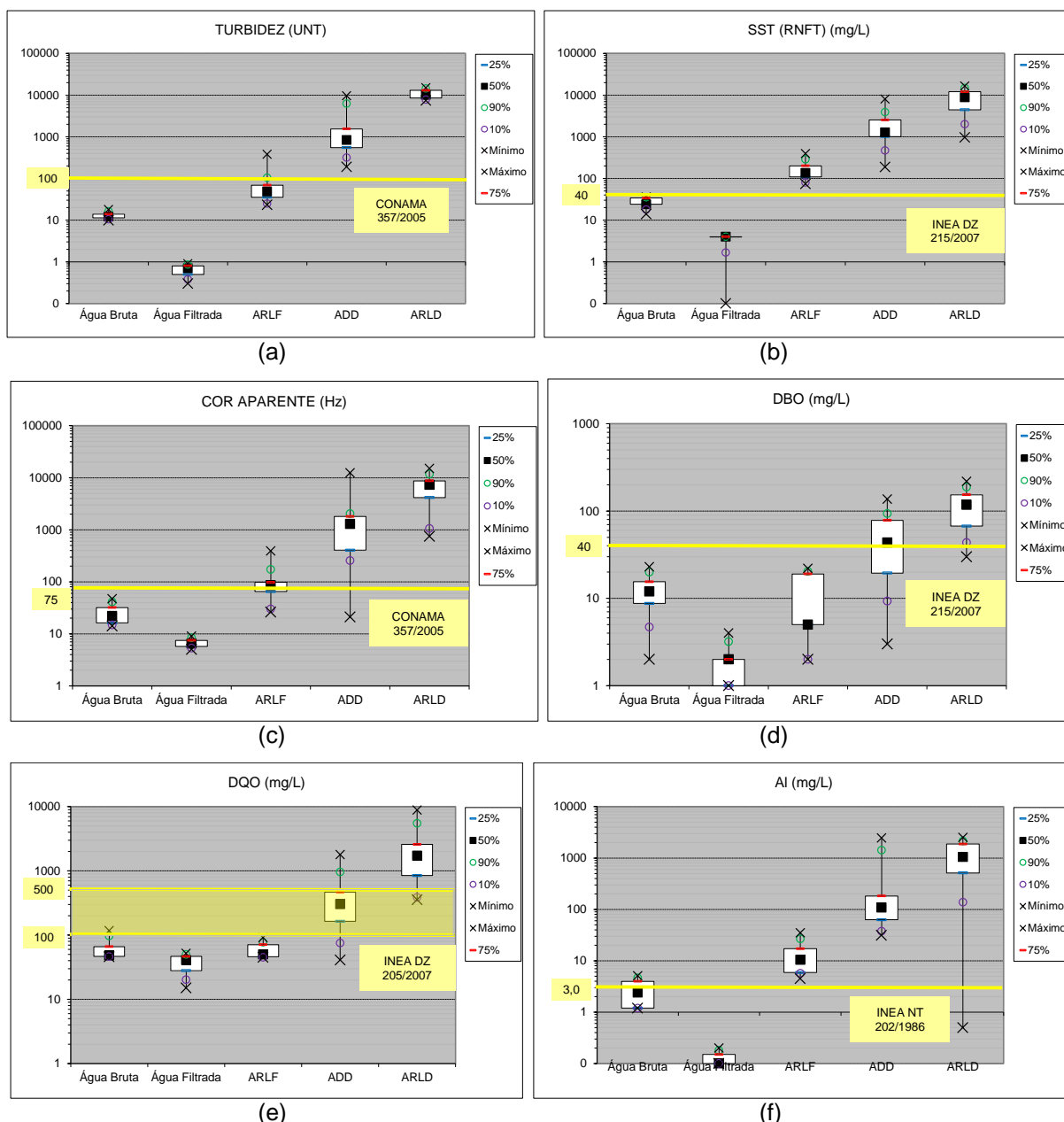


Figura 23: Diagramas *box-plot* comparativo de todas as águas analisadas para diferentes parâmetros de controle de qualidade.

Foram considerados os limites legais mais restritivos, a saber:

- TURBIDEZ: utilizou-se a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), Classe 2, conforme descrito no item 4.1. Ressalta-se que o padrão adotado é o do corpo d'água e não o de lançamento, uma vez que este não é estabelecido pela CONAMA 430 (BRASIL, 2011).
- SST: utilizou-se a diretriz DZ-215 (INEA, 2007) para carga superior a 80kg/dia e remoção mínima de 85%, cujo valor máximo permitido é de 40mg/L.

Ressalta-se que para água filtrada a concentração medida foi sempre inferior a 4 mg/L, referência do limite mínimo de detecção do equipamento.

- COR APARENTE: utilizou-se a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), Classe 2, conforme descrito no item 4.1. Ressalta-se que o padrão adotado é o do corpo d'água e não o de lançamento, uma vez que este não é estabelecido pela CONAMA 430 (BRASIL, 2011). Além disso, o padrão é dado para cor verdadeira, cujo valor será sempre inferior ao determinado pela cor aparente.
- DBO: utilizou-se a diretriz DZ-215 (INEA, 2007) para carga superior a 80kg/dia e remoção mínima de 85%, cuja concentração máxima permitida é de 40 mg/L.
- DQO: utilizou-se a diretriz DZ-205 (INEA, 2007) para concentrações máximas de DQO em efluentes de indústrias com vazão superior a 3,5 m³/dia. Como a indústria de tratamento de água não está elencada nesta normativa, consideraram-se os limites mínimos e máximos permitidos para outros tipos de indústrias.
- ALUMÍNIO TOTAL: utilizou-se a norma NT-202 (INEA, 1986) para concentrações máximas de Alumínio em efluentes líquidos.

Observa-se que a variação de qualidade da ARLF em todos os parâmetros acompanha a variação da água bruta. Já a ADD e a ARLD apresentam concentrações mais elevadas do que a da água bruta, com medianas superiores aos limites propostos pelas legislações federal e estadual, excetuando o parâmetro DQO para ADD (dentro da faixa estabelecida pela DZ-205/2007). Como a cor aparente é superior a cor verdadeira, possivelmente a cor da ARLF esteja dentro do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Ressalta-se a presença de alumínio já na água bruta que, associada a adição do coagulante à base de alumínio, eleva sua concentração nos efluentes. Esta característica específica da água bruta pode ter relação com as atividades exercidas na bacia hidrográfica e que podem contribuir no lançamento deste contaminante à montante da captação no canal de Imunana.

Outra avaliação realizada foi a análise temporal para os parâmetros turbidez, RNFT (equivalente a SST), cor aparente, e DBO, cujos gráficos estão representados nas Figura 24, Figura 25 e Figura 26.

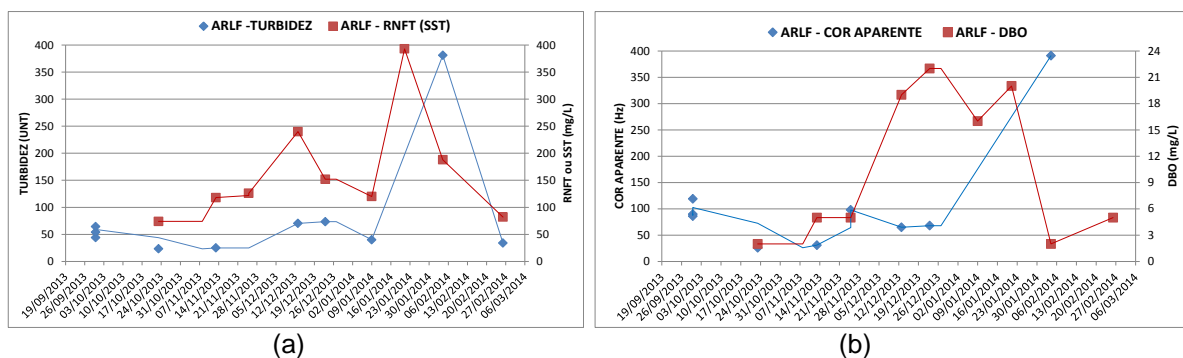


Figura 24: Série temporal da água residual de lavagem de filtro (ARLF)

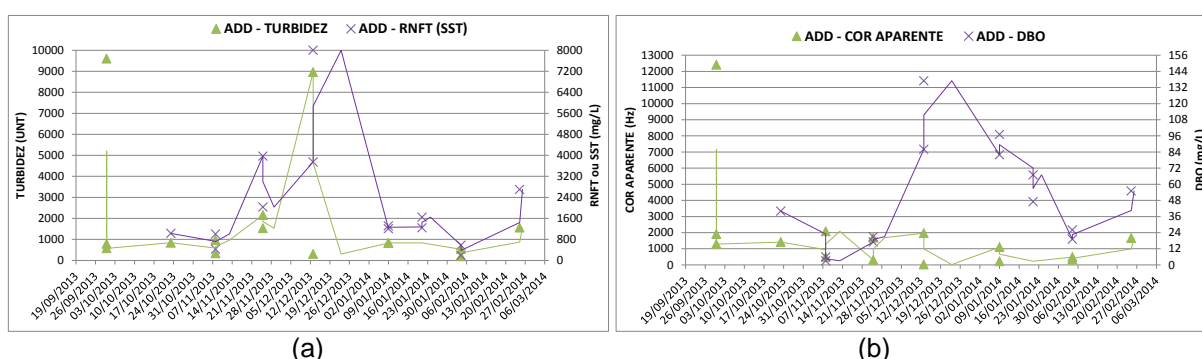


Figura 25: Série temporal da água de descarga de decantador (ADD)

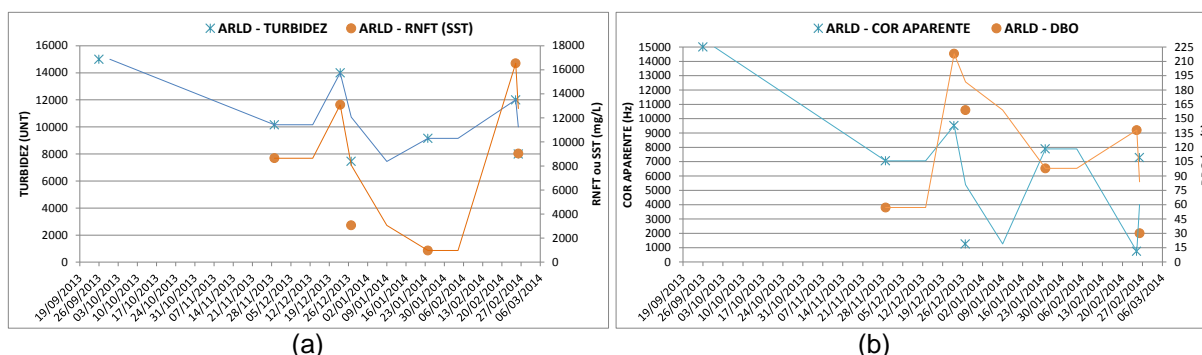


Figura 26: Série temporal da água residual de lavagem de decantador (ARLD)

Como esperado, os resultados da ARLF foram os que apresentaram menor concentração para os parâmetros analisados, o que indica a alta diluição do efluente (Figura 24).

Os resultados da ADD indicaram maior potencial poluidor (Figura 25) quando comparado à ARLF. Este potencial é ainda maior para a ARLD (Figura 26) cujas concentrações são bem maiores que dos demais efluentes avaliados nesta pesquisa.

A média geométrica foi escolhida para avaliação dos dados de SST e turbidez por dar uma melhor indicação da tendência central em amostras cuja variação entre valores máximo e mínimo é elevada. Ao determinar a razão entre as médias geométricas de SST e turbidez, obteve-se os seguintes resultados: 2,3 para ARLF; 1,1 para ADD e 1,0 para ARLD. As razões encontradas são similares às definidas por Libânio (2010) para água natural (0,7 a 2,2). O comportamento temporal destes dois parâmetros é similar para ARLF e ADD, conforme se observa em Figura 24a e Figura 25a.

Considerando-se que a cor determinada é a aparente, esta sofre influência da presença de sólidos dissolvidos, da turbidez e da matéria orgânica em estado coloidal (PIVELI, 2005). Deste modo, sua correlação com a DBO dificilmente pode ser identificada neste caso, conforme comprovam as Figura 24b, Figura 25b e Figura 26b.

Observa-se que as maiores amplitudes dos valores máximos para SST, turbidez, cor e DBO ocorreram entre a segunda quinzena de novembro de 2013 e a segunda quinzena de janeiro de 2014, quando se registrou precipitação na região, propiciando maior carreamento de sólidos ao corpo hídrico.

5.1.2 CARACTERÍSTICA QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS

A análise estatística dos dados de nível obtidos no canal de descarga, que definirão vazão de produção de cada um dos efluentes (ARLD, ARLF e ADD), estão apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22: Estatística dos dados de nível d'água no canal de descarga

CARACTERÍSTICAS DOS NÍVEIS DE ÁGUA NO CANAL DE DESCARGA	ARLD	ADD	ARLF
Núm. dados	421	141	393
Nível Médio (cm)	83	45	40
Nível Mínimo (cm)	30	30	30
Nível Máximo (cm)	132	66	64
Coeficiente de Variação	0,33	0,25	0,26

Os dados utilizados foram selecionados de forma a representar exclusivamente a operação em questão sem sofrer interferência de qualquer outra unidade da ETA.

Observa-se que o nível médio no canal sobre a crista vertedora correspondente ao efluente ARLD, ADD e ARLF é, respectivamente, de 53 cm, 15 cm e 10 cm. Contudo, a duração e a frequência da passagem de cada onda pelo canal diferem para cada resíduo, conforme sua operação correspondente.

Os resultados da variação de nível no canal de descarga produzida estão caracterizados nas Figura 27, Figura 28 e Figura 29, evidenciando a existência de uma curva típica para cada resíduo. As diferenças entre as curvas existentes na Figura 28 deve-se a imprecisão no tempo de abertura das válvulas para a descarga de fundo, que nem sempre respeitam os três minutos estipulados pela operação da ETA. O mesmo se observa na operação de lavagem dos filtros (Figura 29).

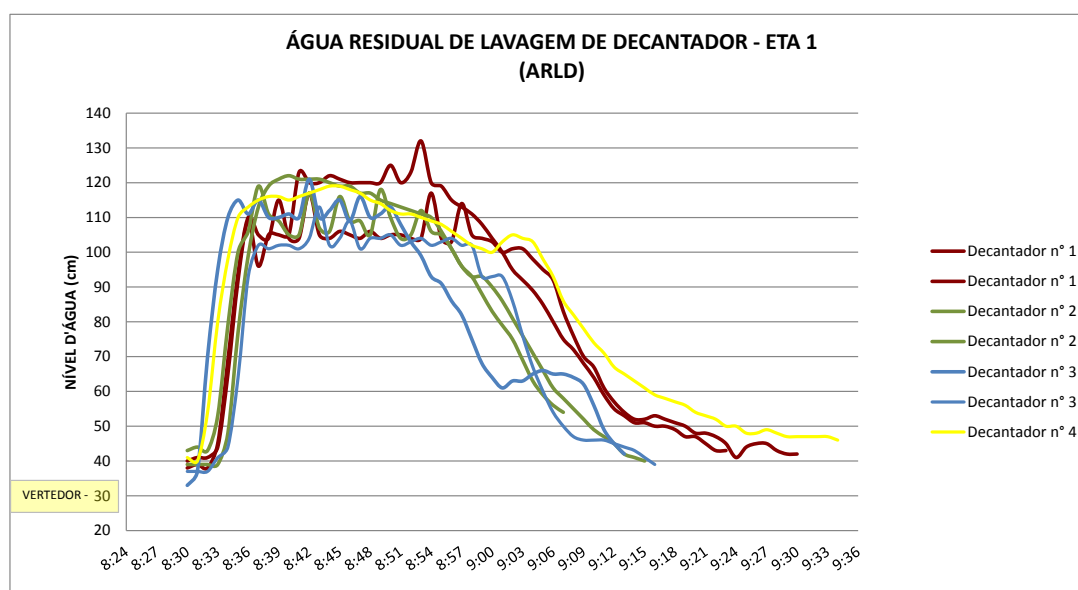


Figura 27: Curvas amostrais da variação de nível no canal de descarga referente à operação de lavagem de decantadores (ARLD)

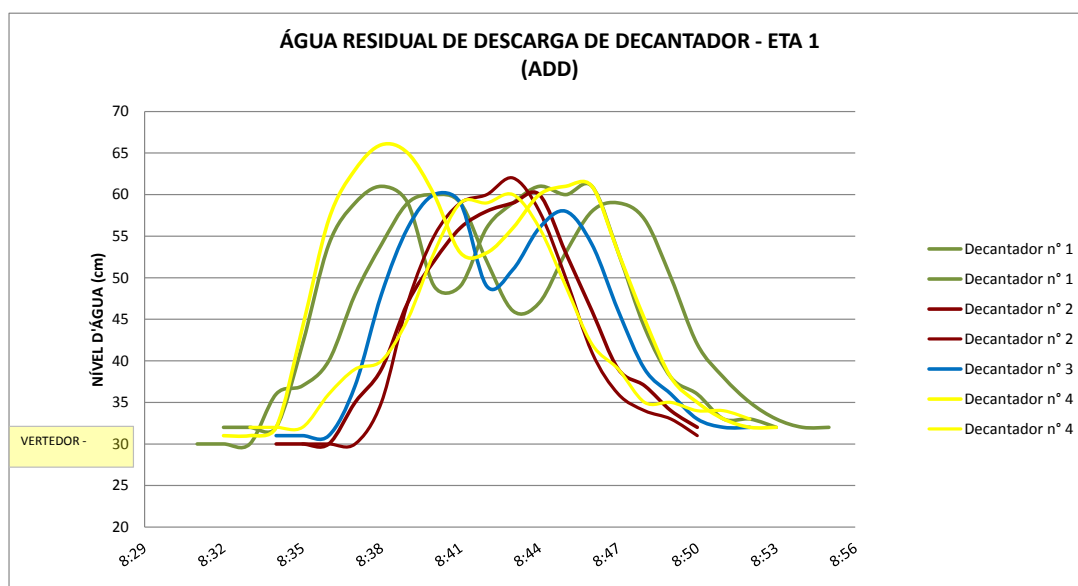


Figura 28: Curvas amostrais da variação de nível no canal de descarga referente à operação de descarga de decantadores (ADD)

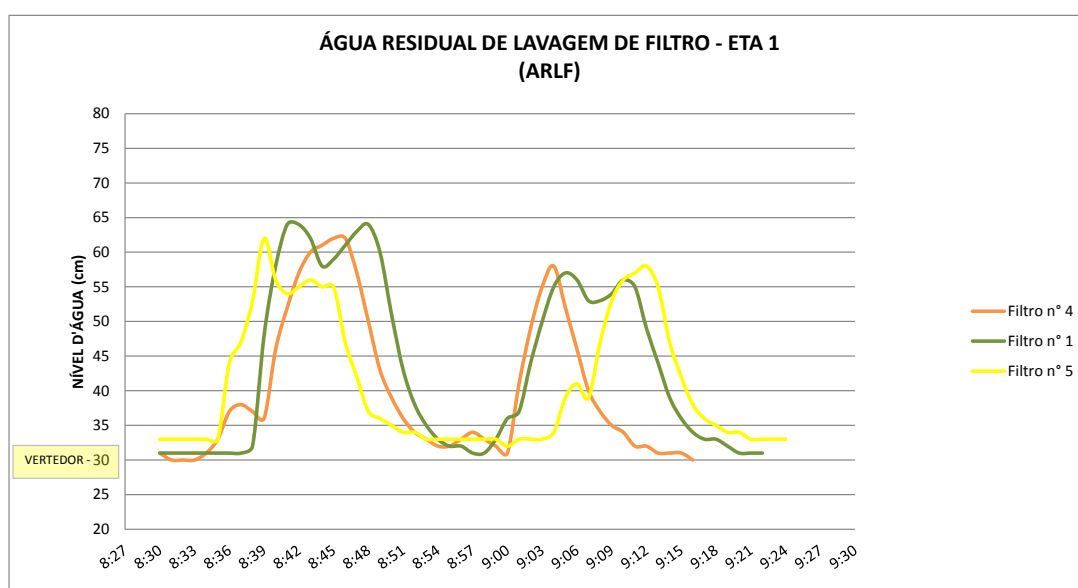


Figura 29: Curvas amostrais da variação de nível no canal de descarga referente à operação de lavagem dos filtros (ARLF)

Avaliando-se as curvas amostrais, identificou-se um comportamento típico para o descarte de cada resíduo no canal de descarga. Sendo assim, chegou-se ao volume mensal descartado por cada linha geradora de resíduo com o auxílio da equação de Francis (Equação 1 – item 4.2.5 da Metodologia). Os resultados estão resumidos na Tabela 23.

Tabela 23: Estimativa de volume de resíduo descartado pela ETA nº1 por linha geradora

MÉDIA DE VOLUME DE CADA RESÍDUO DESCARTADO PELA ETA nº1	MENSAL (L/mês)	DIÁRIO (L/dia)	(m³/s)	PROPORÇÃO POR LINHA GERADORA
ARLD	15.063.267,68	502.108,92	0,0058	10,28%
ADD	28.177.897,08	939.263,23	0,0108	19,22%
ARLF	103.358.262,98	3.445.275,43	0,0398	70,50%
TOTAL	146.599.427,74	4.886.647,58	0,056	100,00%

A vazão média de efluentes na ETA nº1 é de 0,056 m³/s. Sendo assim, o volume médio de efluentes descartados diariamente equivale a 4.886.648 litros. Ressalta-se que esse não é o volume real descartado diariamente, já que a operação de lavagem do decantador ocorre uma vez ao mês, numa operação pontual.

A capacidade nominal de tratamento da ETA nº1 nos meses da pesquisa foi, em média, 3,04 m³/s de água bruta, o que corresponde ao volume diário de 262.656.000,00 litros. Portanto, os efluentes produzidos nos decantadores e filtros correspondem a 1,86% do volume produzido. Trata-se de um resultado compatível aos da literatura, já que Souza Filho e Di Bernardo (1999) informam que o volume médio diário de resíduos produzidos em ETAs convencionais varia entre 1 e 5% do volume de água tratada. Di Bernardo *et al* (2012) estima que as perdas observadas variam entre 1 e 3% para resíduos de decantadores, e entre 0,5 e 3% para resíduos de filtros. Neste trabalho chegou-se ao resultado de 0,55% para efluentes oriundos dos decantadores e de 1,31% para efluentes oriundos da lavagem dos filtros, corroborando com as referências bibliográficas citadas.

Além disso, visando a recuperação desses efluentes, a primeira solução pensada é a recirculação desses efluentes para a cabeceira da estação a fim de aumentar a capacidade de produção da ETA. Esse reaproveitamento permitiria atender a uma demanda diária de aproximadamente 19.308 habitantes³.

Outra opção é manter a capacidade de produção e reduzir o volume aduzido de água bruta na mesma proporção, o que pode gerar uma economia financeira, energética e ambiental, já que são consumidos aproximadamente 250 kW/m³ (dado da CEDAE referente a Junho/2015) para o recalque da água bruta do manancial até

³ Considerado o consumo de água potável *per capita* de 253,1 L/hab.dia, média do estado do Rio de Janeiro segundo SNIS (2013)

a ETA,. Considerando a redução da vazão aduzida na mesma proporção da vazão recirculada (201,6 m³/h), haveria uma economia de 50.400 kW/h, porém deve ser feito um estudo de eficiência energética para confirmar a viabilidade desta opção..

O volume *per capita* de efluentes produzidos pôde ser estimado a partir da população atendida pela ETA em análise. Sendo assim, cada habitante é responsável pela produção diária de 6,52 L de resíduos. Em uma comparação relativa com a produção de lodo de esgotos, já que não se identificou uma referência para água residual de ETA, este volume *per capita* de efluentes assemelha-se ao lodo produzido em sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados convencional que, segundo Andreoli *et al* (2001), varia entre 3,1 e 8,2 L/hab.dia.

5.1.3 POTENCIAL POLUIDOR DOS RESÍDUOS

A Tabela 24 compara os valores médios determinados neste trabalho, para cada linha geradora de resíduo, com os valores mais restritivos da legislação ambiental vigente, considerando como destino final o lançamento destes resíduos em corpo hídrico. Indica ainda a eficiência mínima requerida para o tratamento do efluente a fim de atender estes padrões de lançamento. Os valores mais restritivos indicados nesta tabela estão discutidos no item 3.4. A Tabela 24 também caracteriza alguns outros efluentes típicos dos serviços de saneamento.

Tabela 24: Comparativo entre valor médio de cada resíduo, valor mais restritivo da legislação, eficiência requerida do tratamento e características de outros efluentes brasileiros

ESTATÍSTICA PARÂMETRO	Origem do resíduo	Média	Valor mais restritivo da legislação	Eficiência mínima requerida do tratamento	Resíduos de outras ETAs brasileiras					Lodo de Esgoto ¹¹		Lixiviado do aterro Morro do Céu / RJ ¹²	Lixiviado do aterro Gericinó / RJ ¹³
					Kawamura (2000) ⁶	Barroso (2009) ⁷	Barroso (2009) ⁸	Di Bernardo (2012) ⁹	Di Bernardo (2011) ¹⁰	Sist. Lodos Ativado Convencional	Sist. Tratamento Primário		
Ph	ARLF	7	5,0 a 9,0 ¹	-	6,5-7,5	N/I	N/I	8,94	6,9	N/I	N/I	7,8	8,1
	ADD	7		-	6-8	7,2	8,93	8,90	N/I				
	ARLD	7		-	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
COR APARENTE (Hz)	ARLF	108	≤ 75 Pt/L ² (cor verdadeira)	31%	N/I	N/I	N/I	N/I	310	N/I	N/I	3158 (cor verdadeira)	2275 (N/I o tipo de cor)
	ADD	1825		96%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
	ARLD	6967		99%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
TURBIDEZ (UNT)	ARLF	81	≤ 100 UNT ²	-	150-250	N/I	N/I	N/I	58	N/I	N/I	44	104
	ADD	2000		95%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
	ARLD	10823		99%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
DBO (mg/L)	ARLF	11	≤ 40 mg/L ³	-	2-10	N/I	N/I	N/I	N/I	15-40	200-250	600	279
	ADD	50		20%	30-300	N/I	N/I	N/I	N/I				
	ARLD	117		66%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
DQO (mg/L)	ARLF	60	100 a 500 mg/L ⁴	-	30-150	N/I	N/I	N/I	35	45-120	400-450	1525	1623
	ADD	443		77%	30-5000	N/I	N/I	N/I	N/I				
	ARLD	2538		96%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
RNFT ou SST (mg/L)	ARLF	166	≤ 40 mg/L ³	76%	N/I	N/I	N/I	555	59	20-40	100-150	127	41
	ADD	2077		98%	N/I	26520	775	1569	N/I				
	ARLD	8556		99%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				
AI (mg/L)	ARLF	13,5	≤ 3,0 mg/L ⁵	78%	N/I	N/I	N/I	<0,01	0,30	N/I	N/I	N/I	N/I
	ADD	404,2		99%	N/I	11100	2,16	0,01	N/I				
	ARLD	1189,1		99%	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I				

ESTATÍSTICA PARÂMETRO	Origem do resíduo	Média	Valor mais reutivo da legislação	Eficiência mínima requerida do tratamento	Resíduos de outras ETAs brasileiras					Lodo de Esgoto ¹¹		Lixiviado do aterro Morro do Céu / RJ ¹²	Lixiviado do aterro Geriçinó / RJ ¹³
					Kawamura (2000) ⁶	Barroso (2009) ⁷	Barroso (2009) ⁸	Di Bernardo (2012) ⁹	Di Bernardo (2011) ¹⁰	Sist. Lodos Ativados Convencional	Sist. Tratamento Primário		
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	ARLF	0,29	≤ 1,0 mg/L ⁵	-	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	> 4	> 4	5,5	22
	ADD	7,13		86%	N/I	N/I	N/I	N/I					
	ARLD	28,46		96%	N/I	N/I	N/I	N/I					

* N/I: Não informado pela fonte bibliográfica.

¹ Resolução CONAMA 430, 2011

² Resolução CONAMA 357,2005

³ Diretriz INEA DZ-215, 2007

⁴ Diretriz INEA DZ-205, 2007

⁵ Norma INEA NT-202, 1986

⁶ Kawamura, 2000: Resíduos de ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante

⁷ Barroso e Cordeiro, 2001 *apud* Barroso, 2009: Lodo de decantador convencional e sulfato de alumínio como coagulante.

⁸ Barroso e Cordeiro, 2001 *apud* Barroso, 2009: Lodo de decantador de alta taxa com descarga periódica e cloreto férrico como coagulante

⁹ Di Bernardo, 2012: Resíduo de filtro e descarga de decantador de ETA de ciclo completo, vazão de 700L/s, coagulante cloreto férrico e decantação de alta taxa

¹⁰ Di Bernardo, 2011: Resíduo de filtro de ETA de ciclo completo e coagulante sulfato de alumínio

¹¹ Von Sperling, 2005

¹² Gomes, PROSAB, 2009

Destaca-se que a eficiência mínima requerida apresentada na Tabela 24 refere-se ao tratamento exigido pelos padrões de lançamento mais restritivos vigentes, considerando que o efluente líquido produzido na ETA seja lançado no corpo hídrico. Neste caso, desconsidera-se seu potencial reúso.

As principais observações referentes a Tabela 24 baseiam-se na análise de cada parâmetro do resíduo da ETA em estudo, a saber:

- COR: a eficiência mínima calculada para remoção de cor da ARLF utilizou o padrão de cor verdadeira. Portanto, 31% de remoção estimada para ARLF pode não ser realmente requerida, uma vez que o parâmetro analisado na planta foi cor aparente, ou seja, a cor verdadeira deste resíduo será inferior à detectada. A cor da ARLF equivale a 1/3 daquela encontrada por Di Bernardo (2011), apresentando, portanto, qualidade superior. É evidente a necessidade de tratar a ARLD e ADD devido suas concentrações elevadas. A cor para ARLD e ADD é similar a encontrada para lixiviados, mostrando seu potencial poluidor.
- TURBIDEZ E SST: a turbidez da ARLF encontrada é superior àquela definida por Di Bernardo (2011), enquanto que para SST os resultados são similares aos observados por Di Bernardo (2011) e Di Bernardo (2012). Todas as concentrações de SST encontradas são superiores as usuais definidas para lodo de esgoto (primário e secundário). É fundamental a escolha de tecnologias de manejo que garantam sua remoção antes da disposição final.
- DBO e DQO: Os efluentes do decantador têm características similares aos lodos de esgotos quanto a DBO. A requisição da eficiência mínima para garantir o enquadramento deste parâmetro aos padrões de lançamento não é elevada (20% para ADD e 66% para ARLD). Para DQO os dados são considerados elevados, sendo na ARLF e na ADD similares aos lodos de esgotos, e na ARLD superior ao observado em lixiviados de aterros sanitários. O atendimento à legislação ambiental para DQO requer níveis de tratamento elevados, superiores a 77% (ADD) e 96% (ARLD). Além disso, observa-se que a relação DQO/DBO é elevada para os três efluentes (ARLF = 5,5; ADD = 8,9 e ARLD = 21,7). Essa característica indica que a fração inerte (não biodegradável) do efluente é elevada e o provável manejo dos resíduos requererá um tratamento físico-químico (VON SPERLING, 2005).

- ALUMÍNIO TOTAL E FÓSFORO TOTAL: Destacam-se adicionalmente as elevadas concentrações de alumínio e fósforo, requerendo níveis de tratamento superiores a 78%, corroborando com os resultados de Barroso (2009) para o parâmetro alumínio, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante na ETA avaliada.

Considerando os parâmetros analisados, a ARLF só não se enquadra nos padrões de lançamento para SST e alumínio, necessitando remoção mínima de 76% e de 78%, respectivamente. Para os demais efluentes todos os parâmetros apresentados na Tabela 24 precisam ser readequados a partir de técnicas de tratamento específicas para o atendimento à legislação ambiental vigente. Destaca-se que, apesar das comparações dos resultados desta pesquisa com dados de literatura, estas podem ser limitadas por características específicas de cada ETA, como a qualidade da água bruta e o coagulante utilizado.

Ressalta-se que a Tabela 24 é uma referência para caracterizar o potencial poluidor dos resíduos. Todavia, a definição dos limites reais para lançamento dos efluentes, de acordo com os artigos 5 a 13 da resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011), são de responsabilidade dos órgãos ambientais competentes.

Ao manejar os resíduos gerados na ETA, deve-se atentar para as tecnologias de tratamento apropriadas, a legislação específica e o adequado destino final do resíduo sólido produzido.

5.2 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (RNFT ou SST)

A estimativa de produção de sólidos na ETA nº1 foi feita a partir de 2 metodologias: (1) compilação dos resultados levantados nesta pesquisa e (2) aplicação de fórmulas empíricas. A consolidação destas informações está apresentada na Tabela 25, elaborada a partir dos seguintes dados de entrada:

- Q água bruta ETA nº1 = 3,04 m³/s; equivalente a 50% da vazão média aduzida à ETA Laranjal no período da pesquisa.
- Turbidez água bruta = 13,1 uT; dado médio levantado nesta pesquisa.
- SST água bruta = 26 mg/L; dado médio levantado nesta pesquisa.
- Cor água bruta = 26 uHz; dado médio levantado nesta pesquisa.

- $D = H = AS = 32,85$ mg/L; que define a dosagem média de coagulante da ETA Laranjal no período da pesquisa.
- $A = 0,17$ mg/L; que define a dosagem média de coagulante auxiliar de coagulação da ETA Laranjal no período da pesquisa.
- $Fc1 = 0,25$; coeficiente adotado, fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio. O autor recomenda valores variando entre 0,23 e 0,26.
- $Fc2 = 1,985$; que é a razão SST/Turbidez da água bruta. O autor recomenda valores variando entre 1,0 e 2,00.
- $Al = 2,95$ mg/L; equivalente a concentração do metal alumínio na dosagem média de coagulante da ETA Laranjal.

Tabela 25: Estimativa diária da produção de sólidos (kg) segundo dados reais e fórmulas empíricas.

ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (Kg/dia)			ARLF	ADD	ARLD	GERAL ETA nº 1
DADOS REAIS	PESQUISA DESTE TRABALHO	$W = 86400 \cdot Q \cdot 10^{-3} \cdot SST$	570,82 ¹	1.938,09 ¹	4.287,58 ¹	6.796,49
			-	-	-	6.829,05 ³
FÓRMULAS EMPÍRICAS	AWWA ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot T^{0,66}$	-	-	-	5.021,74
	WCR ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot (SS + 0,07 \cdot C + H + A) \cdot 10^{-3}$	-	-	-	15.979,20
	AFEE ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot (1,2 \cdot T + 0,07 \cdot C + 0,17 \cdot D + A) \cdot 10^{-3}$	-	-	-	6.117,87
	CETESB ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot (0,23 \cdot D + 1,5 \cdot T) \cdot 10^{-3}$	-	-	-	7.145,63
	CORNWELL ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot (0,44 \cdot D + 1,5 \cdot T + A) \cdot 10^{-3}$	-	-	-	9.001,63
	KAWAMURA ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot ((D \cdot Fc1) + (T \cdot Fc2))/1000$	-	-	-	8.985,94

ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (Kg/dia)			ARLF	ADD	ARLD	GERAL ETA nº 1
	ASCE ²	$W = 86400 \cdot Q \cdot (4,89 \cdot AI + SS + A) \cdot 10^{-3}$	-	-	-	10.662,13

¹ Utilizou-se na fórmula a vazão e a concentração de SST do efluente de cada linha geradora de resíduo

² Ver detalhe na Tabela 12 da revisão bibliográfica.

³ Utilizou-se na fórmula a vazão e a concentração de SST da água bruta da ETA nº 1

A estimativa de produção de sólidos foi feita com base nas características reais da água bruta e com base nos dados dos resíduos levantados *in loco*. Os resultados encontrados são similares, apresentando uma variação de 0,15%.

Para o período estudado, consideraram-se similares aquelas estimativas levantadas pelas formulações empíricas, que se diferenciaram da produção medida (6796,49kg/dia) em no máximo 10%, sendo elas: AFEE (-10 %) e CETESB (+5%).

Deve-se considerar, no entanto, que os resultados podem não incorporar os efeitos da sazonalidade na operação da ETA, conforme observado por Saron e Leite (2001). Segundo esses autores é importante a quantificação real dessa produção ao longo do ano.

Ao comparar a produção de sólidos secos da ETA nº1 (25,88 g/m³) com a literatura (REALI, 1999) - Tabela 13 da Revisão Bibliográfica – pode-se considerar que seus efluentes são semelhantes a um manancial de qualidade média (18 a 36 g sólidos secos/m³ água bruta).

5.3 MANEJO DOS RESÍDUOS DA ETA

Neste item serão apresentados os principais resultados referentes aos balanços de massa associados ao gerenciamento da fase sólida e líquida dos resíduos para as quatro rotas de manejo dos resíduos propostas na metodologia (item 4.2.6). O balanço de massa detalhado está apresentado no APÊNDICE D.

A Tabela 26 resume as características físicas dos resíduos, informações utilizadas para o balanço de massa da ETA. O teor de sólidos foi calculado com base nas informações desta tabela, conforme Equação 2 da Metodologia.

Tabela 26: Dados de produção diária dos resíduos na ETA nº 1 comparado à água bruta

DADOS DE PRODUÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS NA ETA Nº 1	VOLUME	MASSA SECA = CARGA SST	CONCENTRAÇÃO MÉDIA SST	DENSIDADE DO RESÍDUO MEDIDA NO DENSÍMETRO	TEOR DE SÓLIDOS
	(m³)	(Kg)	(mg/L)	-	(%)
ARLD	502,11	4.287,58	8.556	1,010	0,85%
ADD	939,26	1.938,09	2.077	1,010	0,20%
ARLF	3.445,28	570,82	166	1,005	0,02%
Total Resíduos	4.886,65	6.796,49	-	-	1,07%
ÁGUA BRUTA	262.656,00	6.829,05	26,00	1,000	0,003%

5.3.1 BALANÇO DE MASSA DA SITUAÇÃO ATUAL (SEM REAPROVEITAMENTO)

A Figura 30 representa o fluxograma atual da ETA nº1 Laranjal quanto à distribuição de vazões e SST.

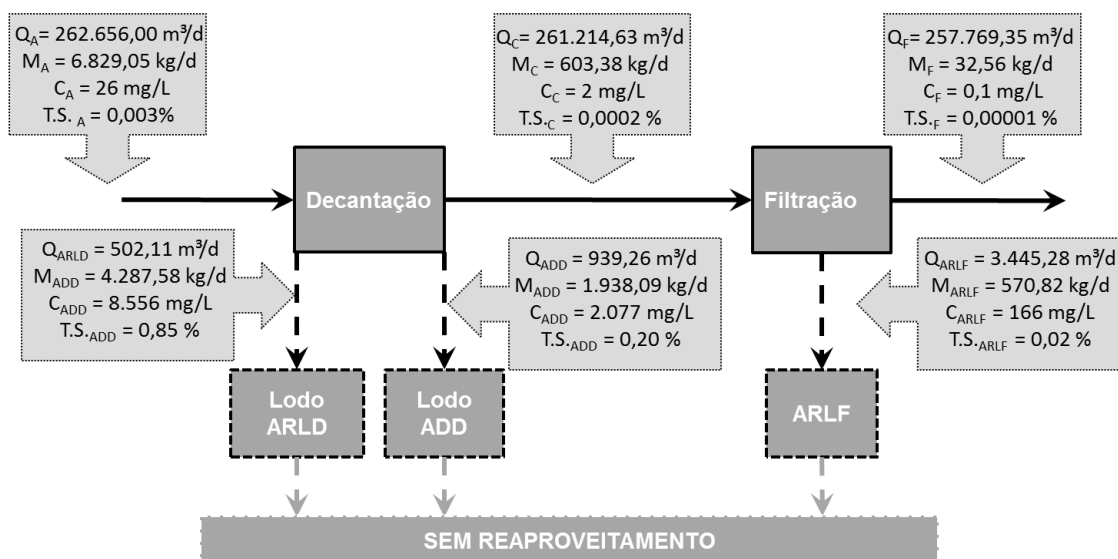


Figura 30: Fluxograma da situação atual da ETA nº1 quanto à distribuição de vazões e SST

Essa rota atualmente praticada na ETA gera uma perda de água de 1,86%, volume suficiente para atender uma demanda diária de cerca de 19 mil habitantes. Além disso, como discutido no item 5.1.3, o potencial poluidor destes resíduos é evidente, principalmente para aqueles oriundos dos decantadores.

Considerando que o volume de resíduos produzidos é elevado (equivalente a 4.886.647,58 L/dia) e o teor de sólidos é baixo (1,07%), pode-se afirmar que a disposição destes resíduos sem o adequado manejo é inviável, pois implica na necessidade de transporte de um volume muito elevado. Segundo Kawamura (2000), deve-se garantir um teor de sólidos mínimo entre 20% e 25%, podendo

alcançar valores superiores a 40%, dependendo da exigência definida pelo aterro sanitário.

As próximas rotas estudadas preveem o reúso dos resíduos gerados e o manejo do lodo (Rotas A, B, C e D). Para o balanço de massa desses fluxogramas, novas premissas foram incorporadas:

- Taxa de remoção de sólidos (Figura 30 - dados experimentais): 91% no decantador, sendo 64% na ARLD e 27% na ADD; 94% no filtro (ARLF).
- Taxa de captura de sólidos (dados da literatura para esgotos - item 4.2.6 Metodologia): 90% no adensador; 92% na centrífuga.
- Teor de sólidos (dados da literatura para esgotos - item 4.2.6 Metodologia): 6% na torta adensada; 22% na torta centrifugada.
- Densidade dos efluentes (dados experimentais): 1,010 para efluente de decantador (ARLD e ADD); 1,005 para efluente de filtro (ARLF).
- Densidade dos efluentes (dados da literatura - item 4.2.6 Metodologia): 1,030 para torta adensada; 1,060 para torta centrifugada.
- Densidade das águas bruta, clarificada e filtrada (dados adotados): 1,000; 1,000 e 1,000, respectivamente.

5.3.2 BALANÇO DE MASSA DA ROTA A

Ressalta-se que o manejo de lodo na Rota A foi selecionado para estudo dada a limitação de espaço disponível na planta o que não favorece o manejo dos resíduos *in situ*.

O resultado final do balanço de massa da Rota A (Figura 31) deu-se após a vigésima iteração, na qual a alteração do incremento nas quantidades de retorno (vazão e massa de sólidos) em relação a iteração anterior foi inferior a 5%, valor considerado aceitável para projeto segundo Metcalf & Eddy (2003). Esta rota não atingiu ao objetivo requerido, já que a redução da perda foi a menor entre as rotas propostas e a concentração de sólidos na água tratada ultrapassou os limites permitidos pela legislação em vigor.

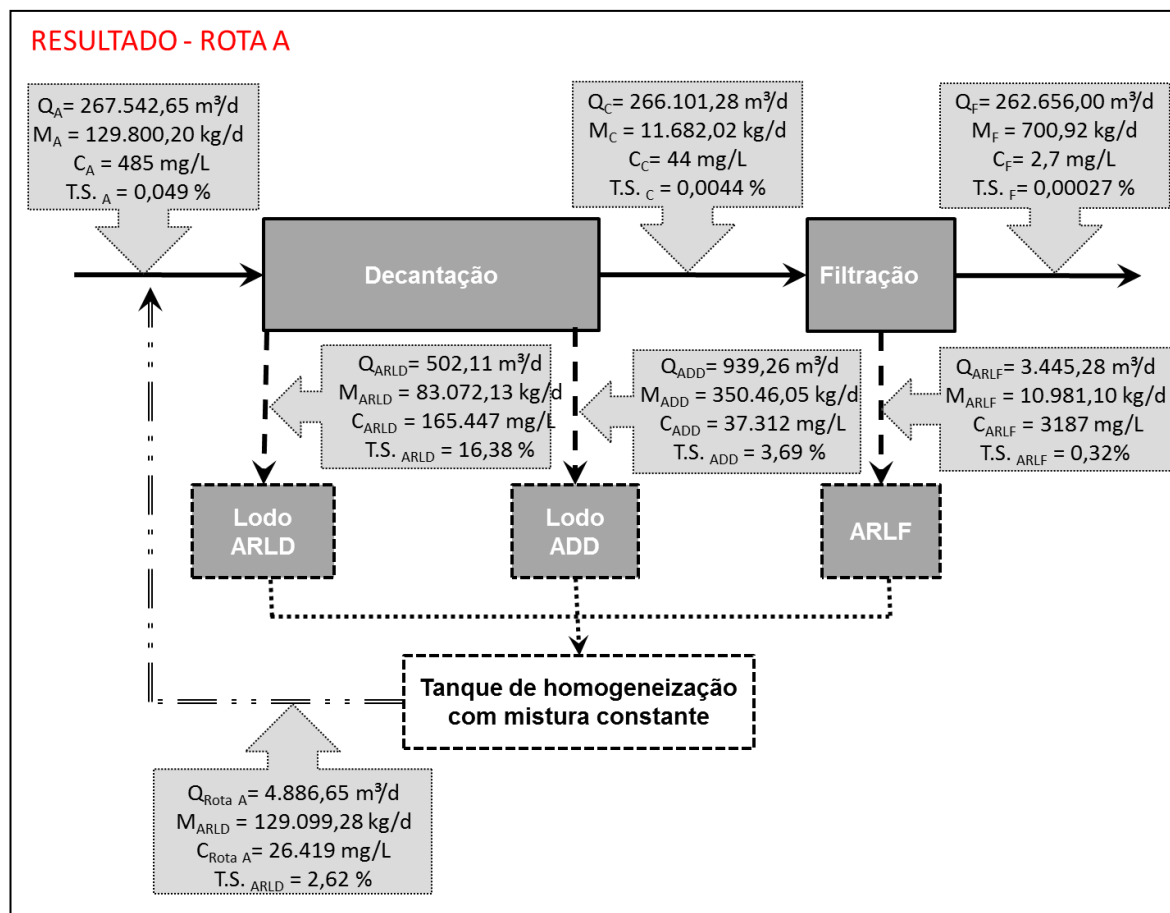


Figura 31: Resultado do balanço de massa da rota A

A partir dos resultados apresentados na Figura 31 e no APÊNDICE D pode-se concluir basicamente que a concentração de sólidos (SST) na água filtrada eleva-se a valores superiores ao limite equivalente de SST permitido pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011). Esta condição seria minimizada operacionalmente através de descartes periódicos do tanque de homogeneização e dos decantadores. Esse volume a ser descartado seria de 4.886,65 m³ a cada oito dias, que em um mês somaria 14.659,95 m³, equivalente a uma perda de 0,18%. Considerando que a ETA não teria capacidade de tratar esse volume, as possíveis soluções para descarte seriam sua ligação a rede de esgotos - que provavelmente não está dimensionada para esse aporte - ou transportá-lo para ser tratado em uma ETE, o que implica na requisição periódica de 25 caminhões com capacidade de 20 m³.

Os principais resultados dessa rota e seu comparativo com as demais rotas propostas e a literatura estão resumidos na Tabela 27.

5.3.3 BALANÇO DE MASSA DA ROTA B

O resultado final do balanço de massa da Rota B (Figura 32) deu-se após a sétima iteração, na qual a alteração do incremento nas quantidades de retorno (vazão e massa de sólidos) em relação a iteração anterior foi inferior a 1%.

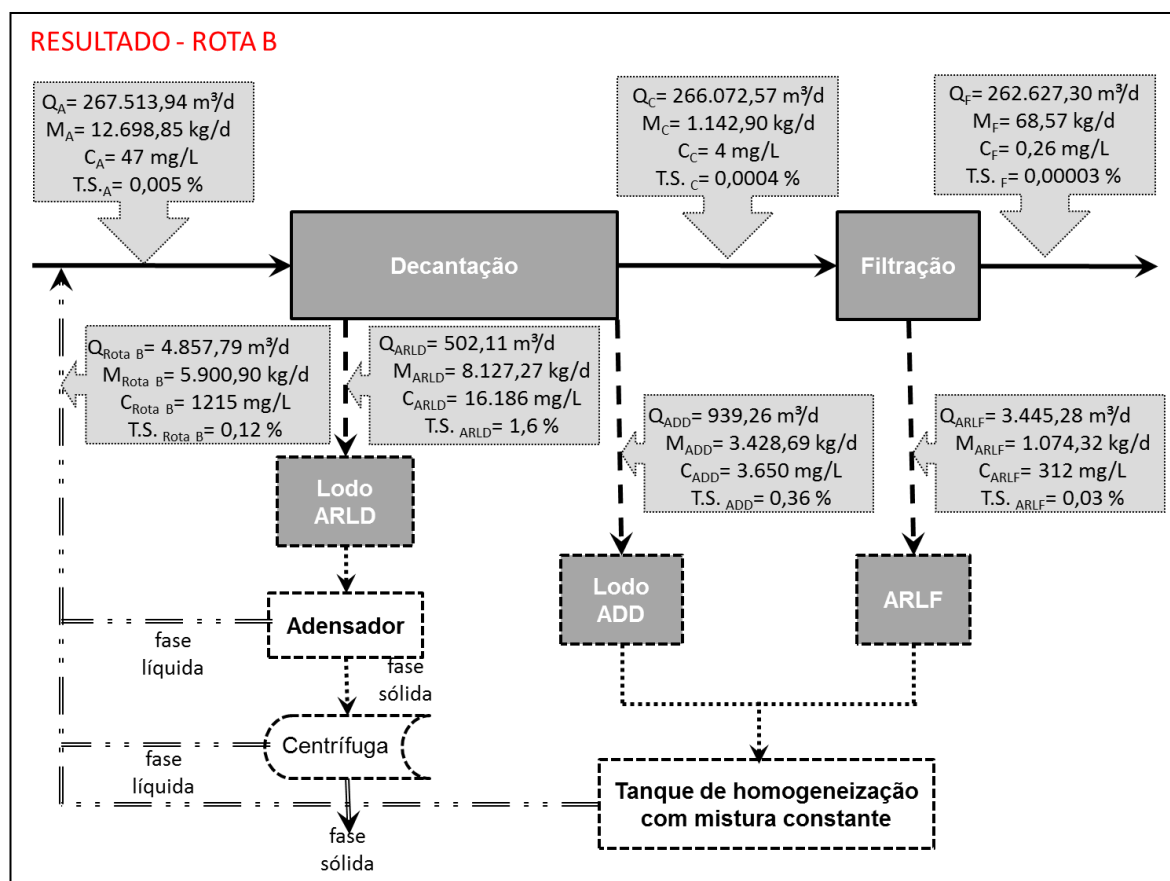


Figura 32: Resultado do balanço de massa da rota B

Ressalta-se que, em função das características dos resíduos ARLF e ADD (valor de TS <2%), confirmou-se que é dispensável seu desaguamento, viabilizando a recirculação após a homogeneização com mistura constante. Todavia, é adequado assumir-se como procedimento operacional de rotina a manutenção anual dessas unidades. A perda física nessa rota equivale ao volume descartado no lodo centrifugado, que é de 0,0108%.

Os principais resultados dessa rota e seu comparativo com as demais rotas propostas e a literatura resumem-se na Tabela 27.

5.3.4 BALANÇO DE MASSA DA ROTA C

O resultado final do balanço de massa da Rota C (Figura 33) deu-se após a décima quarta iteração, na qual a alteração do incremento nas quantidades de retorno (vazão e massa de sólidos) em relação a iteração anterior foi inferior a 1%.

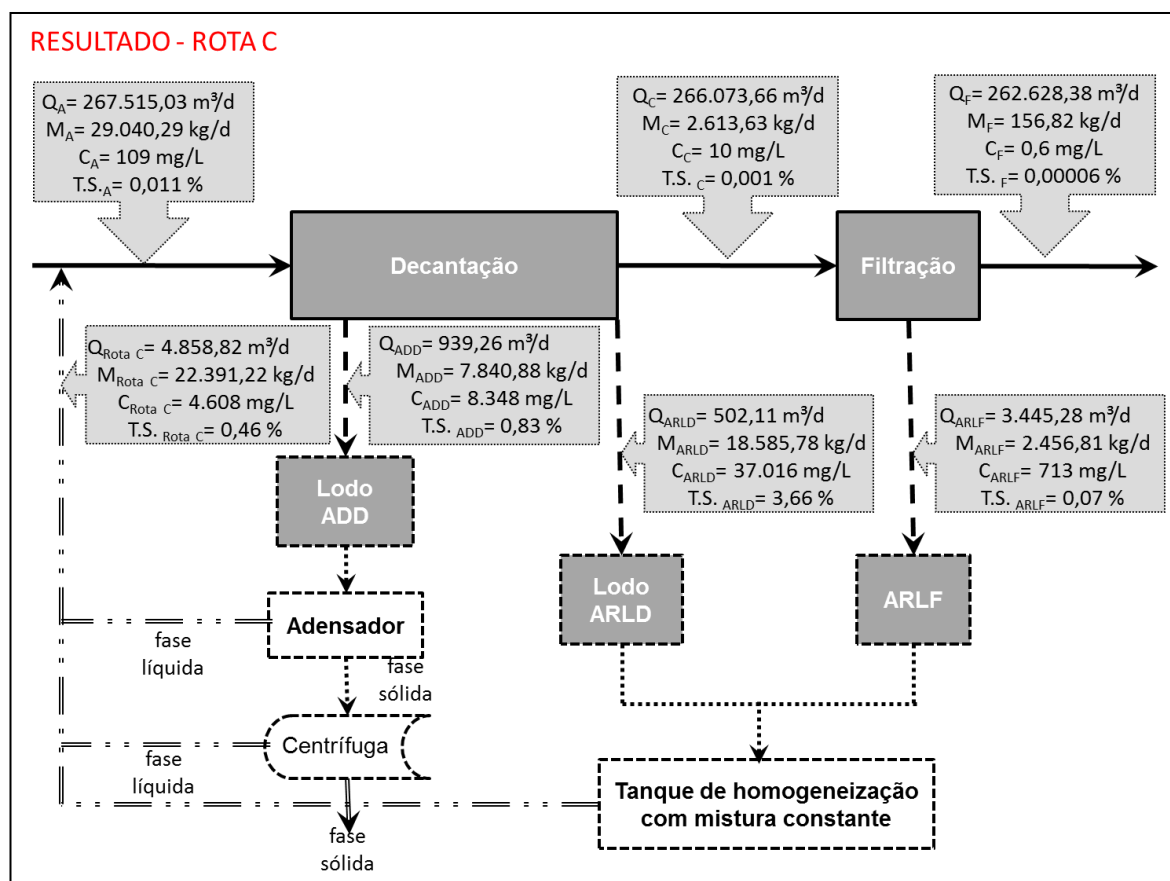


Figura 33: Resultado do balanço de massa da rota C

Ressalta-se que a mistura dos resíduos ARLF e ARLD eleva muito a concentração de sólidos na água de retorno e põe em risco a qualidade da água filtrada. Possivelmente a turbidez ultrapassará o limite de 0,5 UNT estabelecido pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011). Sendo assim, optou-se por desconsiderar essa rota como alternativa de manejo. A perda física (0,0104%) é equivalente ao volume descartado no lodo centrifugado.

Os principais resultados dessa rota e seu comparativo com as demais rotas propostas e a literatura encontram-se na Tabela 27.

5.3.5 BALANÇO DE MASSA DA ROTA D

O resultado final do balanço de massa da Rota D (Figura 34) deu-se após a quinta iteração, na qual a alteração do incremento nas quantidades de retorno (vazão e massa de sólidos) em relação a iteração anterior foi inferior a 1%.

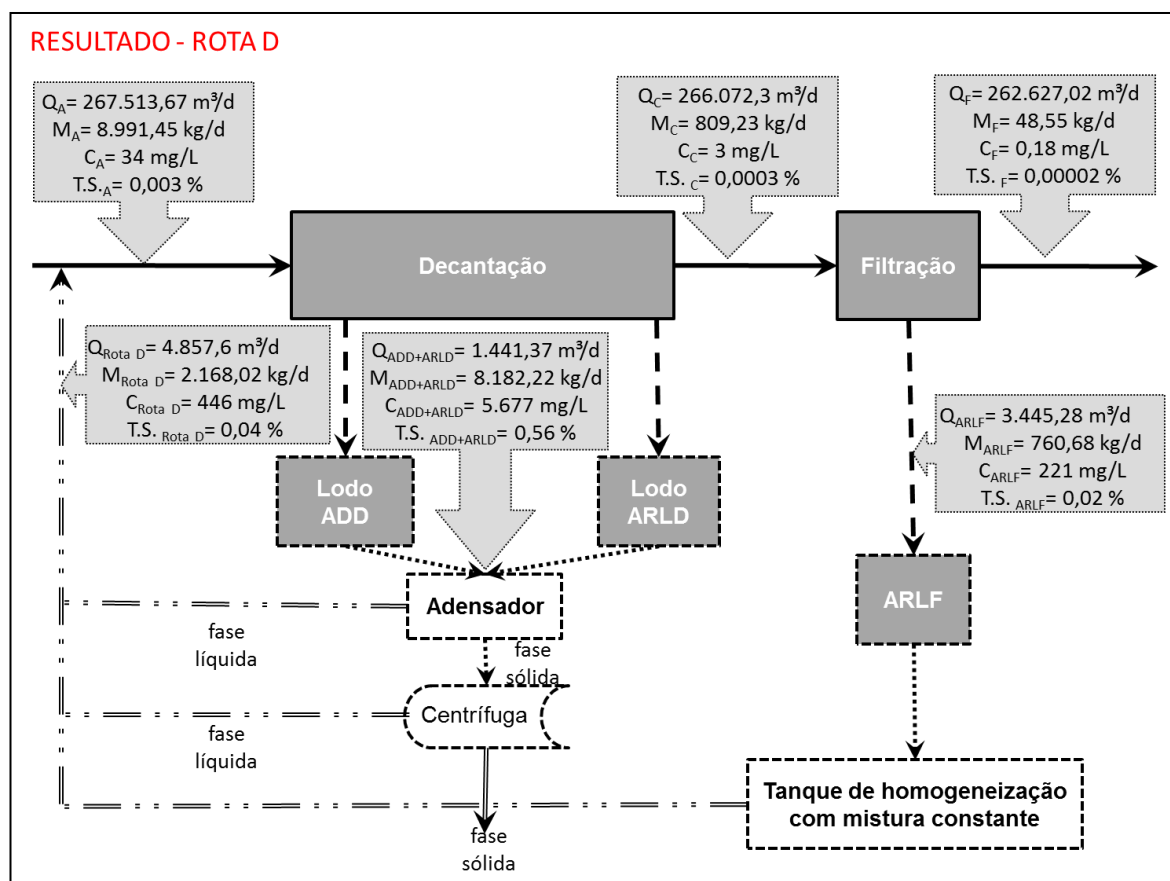


Figura 34: Resultado do balanço de massa da rota D

Ressalta-se que essa rota considera o desaguamento de todos os resíduos dos decantadores, cujas concentrações de sólidos são mais elevadas que os resíduos dos filtros, permitindo uma remoção de cerca de 75% dos sólidos afluentes a ETA. A perda física nessa rota refere-se ao volume descartado no lodo centrifugado, e é equivalente a 0,0109%. Essa rota é similar à rota B, em termos de perda e produção de massa de lodo, porém apresenta melhor qualidade da água filtrada, avaliada pela concentração de sólidos, garantindo a segurança sanitária no processo de tratamento.

Os principais resultados dessa rota e seu comparativo com as demais rotas propostas e a literatura estão na Tabela 27.

Tabela 27: Principais características das rotas propostas

CARACTERÍSTICAS DAS ROTAS PROPOSTAS		ROTA A ³	ROTA B	ROTA C	ROTA D
PERDA FÍSICA (%)		0,18	0,0108	0,0104	0,0109
RESÍDUO DESCARTADO	VOLUME (m ³ /d)	4.886,65	28,86	27,84	29,05
	MASSA (Kg/d)	53.325,58	6.729,38	6.492,25	6.774,88
	T.S. (%)	1,08	22	22	22
RELAÇÃO Kg sólidos / m ³ água bruta		0,20	0,03	0,02	0,03
SÓLIDOS NA ÁGUA FILTRADA	SST (mg/L)	2,67 ⁵	0,26	0,60	0,18
	Turbidez ¹ (UNT)	1,2 – 3,8	0,1 – 0,4	0,3 – 0,9	0,1 – 0,3
VOLUME AFLUENTE AO ADENSADOR (m ³ /d)		-	502,11	939,26	1.441,37
VOLUME AFLUENTE A CENTRÍFUGA (m ³ /d)		-	131,51	126,88	132,40
INCREMENTO DE VOLUME FILTRADO (m ³ /d)		4.886,65	4.857,94	4.859,03	4.857,67
INCREMENTO DE POPULAÇÃO A SER ABASTECIDA ² (hab.)		19.308	19.194	19.199	19.193

¹Turbidez calculada segundo a relação SST/Turbidez igual a 0,7 a 2,2, a mesma adotada para água bruta

²Considerada uma vazão per capita igual a 253,1 L/hab.dia (SNIS, 2013)

³Os dados apresentados para esta rota A não é aquele encontrado para ao final do balanço de massa, mas sim aquele determinado pela oitava iteração (8º dia), conforme descrito no item 5.3.2.

⁴Considerado custo unitário para disposição em aterro igual a R\$ 160,00/ton, conforme Tabela 14 da Revisão Bibliográfica.

⁵Valor inaceitável, pois infringe o limite equivalente de SST permitido pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011)

Diferentemente da rota A, que não trata os resíduos antes de recirculá-lo, as rotas B, C e D mostram-se similares em todas as características apresentadas na Tabela 27, à exceção do impacto que podem produzir na água tratada em termos de concentração de sólidos e, por consequência, da turbidez. Sendo assim, a rota C deve ser desconsiderada como alternativa de manejo por impor risco de

deterioração da qualidade da água de abastecimento. Outra peculiaridade dessas rotas é a dimensão do adensador, que variará para cada rota, conforme a vazão afluyente a ele.

A centrífuga a ser selecionada para cada rota provavelmente será a mesma, pois as vazões afluentes ao equipamento são similares independente das rotas analisadas.

A recirculação, em nenhuma das rotas avaliadas, ultrapassa os 10% da vazão de água bruta afluyente à ETA recomendados pela literatura. Deste modo, minimiza-se o risco de contaminação por organismos patogênicos acumulados no lodo e evita-se sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento. A maior taxa de recirculação foi observada na rota C (8,37%).

As rotas B, C e D apresentaram uma produção de resíduos igual a, respectivamente, 25,62; 24,72 e 25,79 g de sólidos secos/m³ de água bruta. Esses resultados são semelhantes à faixa definida para manancial com qualidade média (18 – 36 g sólidos segundo secos/m³ de água bruta), conforme apresentado na Tabela 13 com base em dados de Reali (1999).

Apesar de não constar do escopo deste trabalho, estima-se que a recirculação pode gerar economia em produto químico (coagulante e polímero), já que a água recirculada aportada ao início do tratamento é rica em hidróxidos, otimizando as etapas de clarificação.

A rota D apresentou-se a melhor rota entre as quatro alternativas propostas pelos motivos apresentados no item 5.3.5.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram pesquisados os aspectos técnicos que podem subsidiar a gestão dos resíduos gerados na operação da ETA Laranjal, mais especificamente em sua ETA nº 1. Os resíduos desta ETA, decorrentes da descarga diária do decantador (ADD), da lavagem mensal do decantador (ARLD) e da lavagem dos filtros (ARLF), foram caracterizados quantitativa e qualitativamente. Além disso, avaliaram-se alternativas de reúso deles segundo quatro rotas de manejo propostas.

Após a análise dos resultados da caracterização e das alternativas de reúso, foi possível concluir que:

- Considerando a configuração da ETA nº 1 e as características dos resíduos gerados em cada linha geradora, fica evidente sua inadequação aos padrões de lançamento vigentes (CONAMA 430, DZ 205, DZ 215 e NT 202) e consequentes impactos ao corpo receptor.
- Com o intuito de se adequar aos padrões de lançamento recomendados pela legislação atual, as eficiências de remoção das substâncias encontradas nos efluentes dos decantadores deveriam ser elevadas, na ordem de 90 a 100%, caso o destino final fosse um corpo hídrico.
- Os resíduos produzidos na lavagem dos filtros apresentam baixa concentração de sólidos (166 mg/L) e turbidez (81 UNT), similares às características da água bruta afluyente a ETA Laranjal. Com isso se confirma a possibilidade de reincorporá-lo ao processo diretamente na cabeceira da ETA, obedecendo ao percentual de vazão de recirculação recomendado pela literatura ($\leq 10\%$), mesmo considerando seu elevado volume (3.445,28 m³/dia, equivalente a 70,50 % do volume total dos efluentes).
- Independentemente das concentrações dos efluentes oriundos dos decantadores serem mais elevadas, observa-se que suas cargas não são tão representativas devido ao volume descartado (aproximadamente 30% do volume total dos efluentes). Todavia, as elevadas concentrações de sólidos e DBO caracterizam seu potencial poluidor e reforçam a necessidade do seu adequado manejo.
- Na situação atual, a perda física decorrente dos efluentes produzidos nos decantadores e filtros é de 1,86% e a produção média diária de sólidos é de 6.829,05 Kg.

- A rota A fica descartada, pois a concentração de sólidos (SST) na água filtrada eleva-se a valores superiores ao limite equivalente permitido pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) e a rota C por ficar na eminência de superar este valor.
- As perdas físicas observadas nas rotas B, C e D foram semelhantes, assim como a produção de sólidos. Apesar dos valores semelhantes, essas rotas se diferem da situação atual pela diminuição da perda.
- A rota D mostrou-se a mais adequada, pois, além de garantir a redução da perda, permite um aumento da produção de água devido à recirculação das águas residuais para a cabeceira da ETA em 4.857,67 m³/dia, equivalente a uma população de 19.193 habitantes. Essa vantagem é obtida sem que haja aumento na adução da ETA Laranjal. A única desvantagem desta rota é que o adensador a ser implantado deverá ser maior do que nas demais rotas propostas.
- Destaca-se a recomendação de que, na implantação da unidade de tratamento dos resíduos, não seja realizada mistura da água de lavagem dos filtros com o lodo dos decantadores, principalmente o da sua limpeza mensal, tendo em vista que essa prática levaria à diluição de um lodo já previamente concentrado e com teor de sólidos maior.
- É primordial a preservação do manancial que abastece a ETA como forma de redução dos poluentes que afluem a ela e conseqüente redução dos resíduos gerados.

Já como complementação desta pesquisa, recomenda-se para trabalhos futuros:

- Os resultados deste trabalho auxiliarão a CEDAE na escolha da melhor solução de manejo, uma vez que é intenção da empresa implantar uma unidade de tratamento de resíduos na ETA. No entanto, recomenda-se aprofundamentos para adequada avaliação de custos de implantação e operação de cada uma das rotas propostas, de modo a subsidiar a escolha da melhor alternativa.
- Deve-se realizar este mesmo estudo para as ETAs nº 2 e nº 3 a fim de melhor caracterizar os resíduos da ETA Laranjal como um todo.

- Este trabalho de caracterização deve ser estendido para outros períodos do ano, identificando os impactos da sazonalidade regional sobre a qualidade dos resíduos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 8419, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**, 7p. Rio de Janeiro. 1992.

ABNT NBR 10004, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**, 71p. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT NBR 10007, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: **Amostragem de resíduos sólidos**, 21p. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT NBR 12216, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: **Projeto de estação de tratamento para abastecimento público**, 18p. Rio de Janeiro. 1992.

ACHON, C. L.; SOARES L. V.; MAGDA C.R. **Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água**. In: 23º Congresso da associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental, 2005, Campo Grande, MS, Anais... Campo Grande: ABES. 2005.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, v.1, Brasília, DF, 2 v. 2010a.

_____. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, v.2, Brasília, DF, 2 v. 2010b.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Agência Nacional de Águas, 432 p., Brasília, DF. 2013.

ANDRADE, C.F.; SILVA, C.M.; OLIVEIRA, F.C.O. **Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas**. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte: IBEAS. 2014.

ANDREOLI, C. V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 484p. v.6, Belo Horizonte. 2001.

ANDREOLI, C. V. (coordenador). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Projeto PROSAB, 417 p., Rio de Janeiro. ABES. 2006.

ANKCORN, P.D. **Clarifying turbidity – the potential and limitations of turbidity as a surrogate for water-quality monitoring.** In: Georgia Water Resources Conference, 2003, Athens, GA. Proceedings... Athens: University of Georgia. 2003.

APHA, AWWA e WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22nd ed. 2012.

ARORA, H.; GIOVANNI, G.D.; LECHEVALLIER, M. **Spent filter backwash water contaminants and treatment strategies.** AWWA. Journal of American Water Works Association, p.100-112. 2001.

ASCE, AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; AWWA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Management of water treatment plant residuals.** ASCE, 294p. New York. 1996.

AWWA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water Treatment plant waste management.** American Water Works Association Research Foundation, 459 p., Denver, USA. 1987.

BARROSO, M.M. **Metais e sólidos: aspectos legais dos resíduos de estações de tratamento de água.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Rio de Janeiro: ABES, I-064. 2009.

BIELSCHOWSKY, M. C. **Modelo de gerenciamento de lodo de estação de tratamento de esgoto: aplicação do caso da Baía de Guanabara.** 2014. 165 f. Dissertação (mestrado), Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 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. 1º da Lei nº 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990, de 28 de dezembro de 1989.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6766, de 19 de dezembro de 1979, 8036, de 11 de maio de 1990, 8666, de 21 de junho de 1993, 8987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 8 jan. 2007 e retificado em 11 jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 14 dez. 2011.

CHAO, I.R.S.; YABROUDI, S.C.; MORITA, D.M. **Remoción de fósforo de efluentes de lagunas de estabilización empleando lodo de estaciones de tratamiento de agua.** Interciencia. Caracas. v. 36, p. 774-778, 2011.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 16 mai. 2011.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 07 abr. 2008.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. 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 CONAMA.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 16 mai. 2011.

CORNWELL, D.A. **Water treatment plant residuals.** In: AWWA. Water Quality and Treatment. 5ª ed. Denver, USA: AWWA. 1999.

_____. **Water treatment residuals engineering.** In: AWWA Research Foundation and American Water Works Association. Denver, USA: AWWA. 2006.

CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals. In: American Water Works Association. Denver, USA: AWWA. 2000.

CRC, COOPERATIVE RESEARCH CENTRE OF AUSTRALIA. **Drinking Water Treatment.** Issue 2. 4 p., Australia. 2008.

Di BERNARDO, L.; SOUZA FILHO, A.G. **Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário.** In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, II-058. 1999.

Di BERNARDO, L *et al.* (coordenador). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** Projeto PROSAB, 498 p., Rio de Janeiro. ABES. 2003.

Di BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.; VOLTAN, P.E.N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. 454 p., São Carlos, SP. Editora LDiBe. 2011.

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**. 540 p., São Carlos, SP. Editora LDiBe. 2012.

DIALLO, M. S. **Unit processes and systems in water treatment**. In: Lecture 3 slides; Department: KAIST graduate school of EEWS. Korea. Disponível em: <http://eewseng.kaist.ac.kr/eng/BBS/Include/BBS_Download.php?file=BBS/DB/lecture/upload/upxVwB3N&file=DialloKAISTEEWSLecture3.pdf&no=80>. Acesso em 19 jun.2015.

EDZWALD, J.; TOBIASON, J. **Fate and removal Cryptosporidium in a dissolved air flotation water plant with and without recycle of waste filter backwash water**. In: II World Water Congress, 2001, Berlin, DE. Proceedings... Berlin: IWA, 7p. 2001.

FERNANDES, F. *et al.* (coordenador). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Projeto PROSAB, 98 p., Rio de Janeiro. ABES. 1999.

FIGUEIREDO, I. C. **Avaliação de Desempenho do Processo CEPT (Chemically Enhanced Primary Treatment) no Tratamento Primário de Esgotos Domésticos**. 2009. 125 f. Tese (doutorado), Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

FEEMA (atual INEA), INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Manual do Meio Ambiente: métodos**. Dicomt, v.2, Rio de Janeiro. 1983.

FONTES, C.M.A. **Utilização das cinzas de lodo de esgoto e de resíduo sólido urbano em concretos de alto desempenho**. Tese (doutorado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Análise da qualidade da água 2015**. São Paulo. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/rededasaguas/analisedaquidadedaagua2015/>>. Acesso em 12 jun. 2015.

GOMES, L.P. (coordenadora). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**, p.43. Projeto PROSAB, 360 p., Rio de Janeiro. ABES. 2009.

GUMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA- Brasília**. Dissertação (mestrado), Faculdade de Tecnologia,

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2007.

GUIMARÃES, N. C. **Sistemas de decantação**. In: Fundamentos de qualidade e tratamento de água, p. 302. Campinas, SP. Editora Átomo. 2010.

HOWE, K.J.; Hand, D.W.; CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Principles of water treatment**. New Jersey, USA. John Wiley & Sons, Inc. 2012.

HUCK, P.; SOZANSKI, M. **Chemical basis for water technology**. In: Treatise on water sciene, v.3, IWA Publishing. Elsevier B.V. 2011.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEIGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa e municípios do estado do Rio de Janeiro**. 2012. IBGE; Órgãos Estaduais de Estatística; Secretarias Estaduais de Governo, Rio de Janeiro Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=rj>. Acesso em 25 fev. 2015.

INEA, INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Diretriz nº 205, de 25 de setembro de 2007. **Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial**. Rev. 6. Diário Oficial do Estado. Rio de Janeiro, RJ, 08 nov. 2007.

INEA, INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Diretriz nº 215, de 25 de setembro de 2007. **Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária**. Rev. 4. Diário Oficial do Estado. Rio de Janeiro, RJ, 08 nov. 2007.

INEA, INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Norma Técnica nº 202, de 04 de dezembro de 1986. **Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos**. Rev. 10. Diário Oficial do Estado. Rio de Janeiro, RJ, 12 dez. 1986.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª ed. 1050 p. Rio de Janeiro. Editora ABES. 2011.

KATAYAMA, V.T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. 2012. Dissertação (mestrado), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

KAWAMURA, S. **Design of basic treatment process units: Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2nd ed., 691 p. John Wiley & Sons, Inc., New York, E.U.A. 2000.

LEDERER, J.; RECHBERGER, H. **Comparative goal-oriented assessment of conventional and alternative sewage sludge treatment options.** Waste Management Journal, v.30, p.1043–1056. 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3ª ed. Campinas, SP. Editora Átomo. 2010.

METCALF E EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4th ed., Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel, 1819 p. Published by Mc Graw Hill, USA. 2003.

METCALF E EDDY. **Water reuse: issues, technologies, and applications.** Written by Takashi Asano... [et al], 1st ed. Published by Mc Graw Hill, USA. 2007.

OLIVEIRA, C.A.; BARCELO, W.F.; COLARES, C.J.G. **Estudo de reaproveitamento da água de lavagem de filtro na ETA – Anápolis/GO.** In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambientais, Goiânia. 2012.

PIVELI, R.P; KATO, M.T. **Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos.** São Paulo. Editora ABES. 2005.

REALI, M.A.P. (coordenador). **Principais características quantitativas e qualitativas do lodo em ETAs.** In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estação de tratamento de água. Projeto PROSAB, p. 21-41, Rio de Janeiro. ABES. 1999.

RICHTER, C.A.; NETTO, J.M.A.. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** 1ª ed., São Paulo. Editora Blucher. 1991.

RICHTER, C.A. **Água: métodos e tecnologias de tratamento.** São Paulo. Editora Blucher. 2001.

SARON, A.; LEITE, V.M.B. **Quantificação de lodo em estação de tratamento de água.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: ABES, I-075. 2001.

SARON, A.; SILVA, E.P. **Redução na dosagem de sulfato de alumínio na ETA Guaraú com a utilização do sistema de recuperação de água de lavagem dos filtros.** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu, BR. Anais... Foz do Iguaçu: ABES, II-011.1997.

SCHNEIDER, R.; TSUTIYA, M. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso.** 324 p., São Paulo. Editora ABES. 2001.

SENA, H.C. **Recebimento de lodo de ETA em ETE por lodo ativado operando com mídia plástica no tanque de aeração (MBBR)**. 2011. Tese (doutorado), Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

SHARMA, S.K.; AMY, G. **Bank filtration: A sustainable water treatment technology for developing countries**. In: 34th WEDC International Conference, Addis Ababa, Ethiopia, 2009. Paper 715. 2009.

SILVA, A.B. **Avaliação do emprego de ultrafiltração em membrana na remoção de células de cianobactérias e microcistina para águas de abastecimento**. 2008. Dissertação (mestrado), Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008.

SNIS, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2013**, SNSA/MCIDADES, Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, DF, 2014.

SPELLMAN, F.R. **Handbook of water & wastewater treatment plant operations**. USA. Lewis Publishers. 2003.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Filter Backwash Recycling Rule – Technical Guidance Manual**. USEPA, 166p., EUA. 2002.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 452p. v.1, Belo Horizonte. 2005.

WALSH, M. (principal investigator). **Data review from full-scale installations for water treatment plant residuals treatment processes**. In: Project funded by The AWWA Technical & Education Council. Department of Civil and Resource, Engineering, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada. 2009.

WATANABE, Y.; KIMURA, K. **Membrane filtration in water and wastewater treatment**. In: Treatise on water science, v.4, IWA Publishing. Elsevier B.V. 2011.

WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Water and health in Europe: a joint report from the European Environment Agency and WHO regional office for Europe**. WHO regional publications. European series; n. 93. 2002.

8. APÊNDICES

8.1 APÊNDICE A – MODELO DO FORMULÁRIO DE CAMPO USADO NAS CAMPANHAS DE COLETA

FORMULÁRIO DE CAMPO				
LOCAL: ETA Laranjal		MUNICÍPIO: São Gonçalo		
NÚMERO DO FRASCO DA AMOSTRA: _____				
MATERIAL COLETADO: <input type="checkbox"/> Água Bruta <input type="checkbox"/> Água Tratada Pós-Filtragem <input type="checkbox"/> Água Residual de Lavagem do Filtro N° ____ <input type="checkbox"/> Água da Descarga do Decantador N° ____ <input type="checkbox"/> Água Residual de Lavagem do Decantador N° ____				
TIPO DE AMOSTRA: <input type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Composta				
DATA: ____ / ____ / _____		HORA DE INÍCIO: ____ : ____		
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS: <input type="checkbox"/> Sol <input type="checkbox"/> Sol com nuvens <input type="checkbox"/> Nublado <input type="checkbox"/> Chuva fraca <input type="checkbox"/> Chuva intensa OBS: _____				
LABORATÓRIO QUE ANALISARÁ A AMOSTRA:		<input type="checkbox"/> GCQ <input type="checkbox"/> GTE		OBS: _____
ORDEM DE COLETA	TEMPO (MM'SS'")	HORA (HH:MM)	VOLUME COLETADO (mL)	OBSERVAÇÕES
1ª	00' 00"	__ : __		
2ª	__ ' __ "	__ : __		
3ª	__ ' __ "	__ : __		
4ª	__ ' __ "	__ : __		
5ª	__ ' __ "	__ : __		
6ª	__ ' __ "	__ : __		
7ª	__ ' __ "	__ : __		
8ª	__ ' __ "	__ : __		
9ª	__ ' __ "	__ : __		
10ª	__ ' __ "	__ : __		
TOTAL				
<p>ORIENTAÇÕES GERAIS: 1 - As amostras devem ser coletadas conforme as orientações NBR 100007/2004;</p> <p>2 - Para as amostras compostas, o cálculo do volume de cada coleta dependerá do volume do frasco, já os intervalos de tempo entre coletas serão em função do material coletado conforme:</p> <p>- Para Água Bruta e Água Tratada Pós-Filtragem: n° coletas e intervalos de tempo entre elas são variáveis e calculados de acordo com o tempo de permanência no local pela equipe de coleta;</p> <p>- Para Água Residual de Lavagem de Filtro: n° coletas mín. por câmara = 5 / n° coletas mín. por filtro = 10 (1filtro tem 2 câmaras) / intervalo de tempo méd. entre coletas em cada câmara do filtro = 01' 08" / tempo estimado total de coleta por câmara = 04' 32"</p> <p>- Para Água da Descarga do Decantador: n° coletas mín. por decantador = 4 / intervalo de tempo entre coletas = 01' 00" / tempo total estimado de coleta por decantador = 03' 00"</p> <p>- Para Água Residual de Lavagem do Decantador: n° coletas mín. por decantador = 9 / intervalo de tempo entre coletas = 05' 00" / tempo total estimado de coleta por decantador = 40' 00"</p> <p>OBSERVAÇÕES:</p>				

8.2 APÊNDICE B - RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRAS COLETADAS

DATA	COR APARENTE (HZ)					TURBIDEZ (UNT)					DQO (mg/L)				
	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD
26/09/2013					15000					15000					356
30/09/2013			90	1913				44	790				67	46	
30/09/2013			86	12410				54	9600				49	1106	
30/09/2013			119	1289				65	575				71	237	
23/10/2013	14	5	26	1413		9,9	0,7	23	840		117	15	45	382	
08/11/2013				489					335					144	
08/11/2013				2084					967					250	
13/11/2013			31					25					45		
25/11/2013	47	9	98	303		18,0			2160		46	41	46	41	
25/11/2013				1685					1532					615	
29/11/2013					7059					10160					1727
13/12/2013			65	1968				70	8960				91	1789	
13/12/2013				21					305						
23/12/2013	17	7	68		9521	11,9	0,3	74		14000	47		74		8827
27/12/2013					1263					7450					3306
09/01/2014				1100				40	830					355	
09/01/2014				225					835					375	
21/01/2014															
21/01/2014															
24/01/2014					7892					9150					1861
04/02/2014			391	482				381	530					223	
04/02/2014				327					190					144	
25/02/2014	27	6		1667	744	12,6	0,9		1560	12000	49	52		495	1283
26/02/2014					7292			34		8000			50		408

DATA	DBO (mg/L)					SST (RNFT) (mg/L)					Al (mg/L)				
	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD
26/09/2013															2507
30/09/2013													13	115	
30/09/2013													14	2460	
30/09/2013													20	98	
23/10/2013	2	2	2	40		36,0	0,1	74	1028		4	0	6	255	
08/11/2013				6					424					36	
08/11/2013				3					1006					75	
13/11/2013			5					118					6		
25/11/2013	11	4	5	17		24,0	4,0		3970		5	0	27	163	
25/11/2013				21					2030					115	
29/11/2013					57					8645					230
13/12/2013			19	86				240	3750				5	1920	
13/12/2013				137					8000						
23/12/2013	13	1	22		218	14,0	4,0	152		13090	1		6		1
27/12/2013					159					3060					1889
09/01/2014			16	82				120	1210				10	102	
09/01/2014				97					1310					31	
21/01/2014		2	20	47		34,0	4,0	393	1240						
21/01/2014				67					1647						
24/01/2014					98					970					1047
04/02/2014			2	19				188	580				35	59	
04/02/2014				26					188					42	
25/02/2014	23	1		55	138	24,0	4,0		2700	16540	1	0		189	1855
26/02/2014			5		30			82		9030			8		795

8.3 APÊNDICE C - ESTUDO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRAS COLETADAS

RESULTADOS ESTATÍSTICOS *	COR APARENTE (HZ)					TURBIDEZ (UNT)					DQO (mg/L)				
	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD
Núm dados	4	4	9	15	7	4,0	3,0	10	15	7	4	3	9	14	7
Média	26	7	108	1825	6967	13,1	0,6	81	2001	10823	65	36	60	443	2538
10%	15	5	30	256	1055	10,5	0,4	25	317	7780	46	20	45	75	387
25%	16	6	65	405	4161	11,4	0,5	36	553	8575	47	28	46	164	846
50%	22	7	86	1289	7292	12,3	0,7	49	835	10160	48	41	50	303	1727
75%	32	8	98	1799	8707	14,0	0,8	69	1546	13000	66	47	71	467	2584
90%	41	8	173	2038	11713	16,4	0,9	104	6240	14400	97	50	77	959	5514
Mínimo	14	5	26	21	744	9,9	0,3	23	190	7450	46	15	45	41	356
Máximo	47	9	391	12410	15000	18,0	0,9	381	9600	15000	117	52	91	1789	8827

* Esses resultados estão representados nos gráficos do tipo box-plot do item 5.

RESULTADOS ESTATÍSTICOS *	DBO (mg/L)					SST (RNFT) (mg/L)					Al (mg/L)				
	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD	ÁGUA BRUTA	ÁGUA FILTRADA	ARLF	ADD	ARLD
Núm dados	4	5	9	14	6	5,0	5,0	8	14	6	4	3	11	14	7
Média	12	2	11	50	117	26,4	3,2	171	2077	8556	3	0	14	404	1189
10%	5	1	2	9	44	18,0	1,7	80	471	2015	1	0	6	38	138
25%	9	1	5	20	67	24,0	4,0	109	1012	4456	1	0	6	63	513
50%	12	2	5	44	118	24,0	4,0	136	1275	8838	2	0	10	108	1047
75%	16	2	19	78	154	34,0	4,0	201	2533	12075	4	0	17	182	1872
90%	20	3	20	94	189	35,2	4,0	286	3904	14815	5	0	27	1421	2136
Mínimo	2	1	2	3	30	14,0	0,1	74	188	970	1	0	5	31	1
Máximo	23	4	22	137	218	36,0	4,0	393	8000	16540	5	0	35	2460	2507

* Esses resultados estão representados nos gráficos do tipo box-plot do item 5.

8.4 APÊNDICE D - BALANÇO DE MASSA DAS QUATRO ROTAS DE MANEJO PROPOSTAS

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA A

	ÁGUA BRUTA	ARLD	ADD	ÁGUA CLARIFICADA ESTIMADA	ARLF	ÁGUA FILTRADA ESTIMADA	ÁGUA FILTRADA MEDIDA	PERDAS OPERACIONAIS / EFLUENTES
SITUAÇÃO ATUAL - 1ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	261.214,63	3.445,28	257.769,35	257.856,71	1,86%
	MASSA (kg/d)	4.287,58	1.938,09	603,38	570,82	32,56	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	8.556	2.077	2	166	0,1	-	-
	T.S. (%)	0,85%	0,20%	0,0002%	0,02%	0,00001%	-	-
ROTA A - 2ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	8.720,35	3.678,90	1.226,30	1.152,72	73,58	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	17.367	3.917	5	335	0,3	-	-
	T.S. (%)	1,72%	0,39%	0,0005%	0,03%	0,00003%	-	-
ROTA A - 3ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	13.043,85	5.502,87	1.834,29	1.724,23	110,06	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	25.978	5.859	7	500	0,4	-	-
	T.S. (%)	2,57%	0,58%	0,0007%	0,05%	0,00004%	-	-
ROTA A - 4ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	17.344,00	7.317,00	2.439,00	2.292,66	146,34	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	34.542	7.790	9	665	0,6	-	-
	T.S. (%)	3,42%	0,77%	0,0009%	0,07%	0,00006%	-	-
ROTA A - 5ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	21.620,94	9.121,33	3.040,44	2.858,02	182,43	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	43.060	9.711	11	830	0,7	-	-
	T.S. (%)	4,26%	0,96%	0,0011%	0,08%	0,00007%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTAS A

ROTA A - 6ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	40.429,34	25.874,78	10.915,92	3.638,64	3.420,32	218,32	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	151	51.532	11.622	14	993	0,8	-	-
	T.S. (%)	0,015%	5,10%	1,15%	0,0014%	0,10%	0,00008%	-	-
ROTA A - 7ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	47.040,07	30.105,64	12.700,82	4.233,61	3.979,59	254,02	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	176	59.959	13.522	16	1.155	1,0	-	-
	T.S. (%)	0,018%	5,94%	1,34%	0,0016%	0,11%	0,00010%	-	-
ROTA A - 8ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	1,83%
	MASSA (kg/d)	53.615,10	34.313,67	14.476,08	4.825,36	4.535,84	289,52	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	200	68.339	15.412	18	1.317	1,1	-	-
	T.S. (%)	0,020%	6,77%	1,53%	0,0018%	0,13%	0,00011%	-	-
ROTA A - 9ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	60.154,63	38.498,96	16.241,75	5.413,92	5.089,08	324,84	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	225	76.675	17.292	20	1.477	1,2	-	-
	T.S. (%)	0,022%	7,59%	1,71%	0,0020%	0,15%	0,00012%	-	-
ROTA A - 10ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	66.658,85	42.661,66	17.997,89	5.999,30	5.639,34	359,96	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	249	84.965	19.162	23	1.637	1,4	-	-
	T.S. (%)	0,025%	8,41%	1,90%	0,0022%	0,16%	0,00014%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA A

ROTA A - 11ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	73.127,94	46.801,88	19.744,54	6.581,51	6.186,62	394,89	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	273	93.211	21.021	25	1.796	1,5	-	-
	T.S. (%)	0,027%	9,23%	2,08%	0,0025%	0,18%	0,00015%	-	-
ROTA A - 12ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	79.562,10	50.919,74	21.481,77	7.160,59	6.730,95	429,64	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	297	101.412	22.871	27	1.954	1,6	-	-
	T.S. (%)	0,030%	10,04%	2,26%	0,0027%	0,19%	0,00016%	-	-
ROTA A - 13ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	85.961,51	55.015,37	23.209,61	7.736,54	7.272,34	464,19	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	321	109.569	24.710	29	2.111	1,8	-	-
	T.S. (%)	0,032%	10,85%	2,45%	0,0029%	0,21%	0,00018%	-	-
ROTA A - 14ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	92.326,37	59.088,88	24.928,12	8.309,37	7.810,81	498,56	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	345	117.682	26.540	31	2.267	1,9	-	-
	T.S. (%)	0,035%	11,65%	2,63%	0,0031%	0,23%	0,00019%	-	-
ROTA A - 15ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	98.656,86	63.140,39	26.637,35	8.879,12	8.346,37	532,75	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	369	125.751	28.360	33	2.423	2,0	-	-
	T.S. (%)	0,037%	12,45%	2,81%	0,0033%	0,24%	0,00020%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTAS A

ROTA A - 16ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	104.953,16	67.170,02	28.337,35	9.445,78	8.879,04	566,75	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	392	133.776	30.170	35	2.577	2,2	-	-
	T.S. (%)	0,039%	13,25%	2,99%	0,0035%	0,26%	0,00022%	-	-
ROTA A - 17ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	111.215,46	71.177,90	30.028,18	10.009,39	9.408,83	600,56	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	416	141.758	31.970	38	2.731	2,3	-	-
	T.S. (%)	0,042%	14,04%	3,17%	0,0037%	0,27%	0,00023%	-	-
ROTA A - 18ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	117.443,95	75.164,13	31.709,87	10.569,96	9.935,76	634,20	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	439	149.697	33.760	40	2.884	2,4	-	-
	T.S. (%)	0,044%	14,82%	3,34%	0,0040%	0,29%	0,00024%	-	-
ROTA A - 19ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	123.638,80	79.128,83	33.382,48	11.127,49	10.459,84	667,65	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	462	157.593	35.541	42	3.036	2,5	-	-
	T.S. (%)	0,046%	15,60%	3,52%	0,0042%	0,30%	0,00025%	-	-
ROTA A - 20ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.542,65	502,11	939,26	266.101,28	3.445,28	262.656,00	-	0,00%
	MASSA (kg/d)	129.800,20	83.072,13	35.046,05	11.682,02	10.981,10	700,92	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	485	165.447	37.312	44	3.187	2,67	-	-
	T.S. (%)	0,049%	16,38%	3,69%	0,0044%	0,32%	0,00027%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA B

		LODO ADENSADO					LODO CENTRIFUGADO					PERDAS OPERACIONAIS / EFLUENTES	
		ÁGUA BRUTA	ARLD	ADD	ÁGUA CLARIFICADA ESTIMADA	ARLF	ÁGUA FILTRADA ESTIMADA	LODO ADENSADO	LÍQUIDO SOBRENADANTE	TORTA CENTRIFUGADA	LÍQUIDO CLARIFICADO	ÁGUA FILTRADA MEDIDA	
SITUAÇÃO ATUAL - 1ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	262.656,00	502,11	939,26	261.214,63	3.445,28	257.769,35	69,38	432,73	15,22	54,15	257.856,71	1,8605%
	MASSA (kg/d)	6.829,05	4.287,58	1.938,09	603,38	570,82	32,56	3.858,82	428,76	3.550,12	308,71	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	26	8,556	2,077	2	166	0	55,620	991	233,200	5,700	-	-
	T.S. (%)	0,003%	0,85%	0,20%	0,0002%	0,02%	0,00001%	6%	0,10%	22%	0,57%	-	-
ROTA B - 2ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.527,42	502,11	939,26	266.086,05	3.445,28	262.640,78	104,34	397,77	22,90	81,45	-	0,0086%
	MASSA (kg/d)	10.075,42	6.448,27	2.720,36	906,79	852,38	54,41	5.803,44	644,83	5.339,17	464,28	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	38	12,842	2,896	3	247	0	55,620	1.621	233,200	5,700	-	-
	T.S. (%)	0,004%	1,27%	0,29%	0,0003%	0,02%	0,00002%	6%	0,16%	22%	0,57%	-	-
ROTA B - 3ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.519,75	502,11	939,26	266.078,38	3.445,28	262.633,10	119,21	382,90	26,16	93,05	-	0,0098%
	MASSA (kg/d)	11.510,90	7.366,97	3.107,94	1.035,98	973,82	62,16	6.630,28	736,70	6.099,86	530,42	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	43	14,672	3,309	4	283	0	55,620	1.924	233,200	5,700	-	-
	T.S. (%)	0,004%	1,45%	0,33%	0,0004%	0,03%	0,00002%	6%	0,19%	22%	0,57%	-	-
ROTA B - 4ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.516,49	502,11	939,26	266.075,12	3.445,28	262.629,84	126,11	375,99	27,67	98,44	-	0,0103%
	MASSA (kg/d)	12.177,93	7.793,88	3.288,04	1.096,01	1.030,25	65,76	7.014,49	779,39	6.453,33	561,16	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	46	15,522	3,501	4	299	0	55,620	2.073	233,200	5,700	-	-
	T.S. (%)	0,005%	1,54%	0,35%	0,0004%	0,03%	0,00003%	6%	0,21%	22%	0,57%	-	-
ROTA B - 5ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.514,97	502,11	939,26	266.073,60	3.445,28	262.628,33	129,32	372,78	28,38	100,95	-	0,0106%
	MASSA (kg/d)	12.487,89	7.992,25	3.371,73	1.123,91	1.056,48	67,43	7.193,03	799,23	6.617,58	575,44	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	47	15,917	3,590	4	307	0	55,620	2.144	233,200	5,700	-	-
	T.S. (%)	0,005%	1,58%	0,36%	0,0004%	0,03%	0,00003%	6%	0,21%	22%	0,57%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA B

ROTA B - 6ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.514,27	502,11	939,26	266.072,90	3.445,28	262.627,62	130,82	371,29	28,70	102,11	-	0,0107%
	MASSA (kg/d)	12.631,92	8.084,43	3.410,62	1.136,87	1.068,66	68,21	7.275,99	808,44	6.693,91	582,08	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	47	16.101	3.631	4	310	0,26	0,00003%	55.620	2.177	233.200	-	-
	T.S. (%)	0,005%	1,59%	0,36%	0,0004%	0,03%	0,000003%	6%	0,22%	22%	0,57%	-	-
ROTA B - 7ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.513,94	502,11	939,26	266.072,57	3.445,28	262.627,30	131,51	370,60	28,86	102,65	-	0,0108%
	MASSA (kg/d)	12.698,85	8.127,27	3.428,69	1.142,90	1.074,32	68,57	7.314,54	812,73	6.729,38	585,16	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	47	16.186	3.650	4	312	0,26	0,00003%	55.620	2.193	233.200	-	-
	T.S. (%)	0,005%	1,60%	0,36%	0,0004%	0,03%	0,000003%	6%	0,22%	22%	0,57%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA C

	LODO ADENSADO										LODO CENTRIFUGADO				PERDAS OPERACIONAIS / EFLUENTES
	ÁGUA BRUTA	ARLD	ADD	ÁGUA CLARIFICADA ESTIMADA	ARLF	ÁGUA FILTRADA ESTIMADA	LODO ADENSADO	LÍQUIDO SOBRENADANTE	TORTA CENTRIFUGADA	LÍQUIDO CLARIFICADO	ÁGUA FILTRADA MEDIDA				
SITUAÇÃO ATUAL - 1ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	261.214,63	3.445,28	257.769,35	31,36	907,90	6,88	24,48	257.856,71	1,8605%			
	MASSA (kg/d)	4.287,58	1.938,09	603,38	570,82	32,56	1.744,28	193,81	1.604,74	139,54	-	-			
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	8,556	2,077	2	166	0	55,620	213	233,200	5,700	-	-			
	T.S. (%)	0,85%	0,20%	0,0002%	0,02%	0,00001%	6%	0,02%	22%	0,57%	-	-			
ROTA C - 2ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.094,39	3.445,28	262.649,12	52,52	886,74	11,52	40,99	-	0,0043%			
	MASSA (kg/d)	7.693,31	3.245,62	1.081,87	1.016,96	64,91	2.921,05	324,56	2.687,37	233,68	-	-			
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	15,322	3,455	4	295	0	55,620	366	233,200	5,700	-	-			
	T.S. (%)	1,52%	0,34%	0,0004%	0,03%	0,00002%	6%	0,04%	22%	0,57%	-	-			
ROTA C - 3ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.089,75	3.445,28	262.644,48	70,33	868,93	15,43	54,90	-	0,0058%			
	MASSA (kg/d)	10.302,44	4.346,34	1.448,78	1.361,85	86,93	3.911,71	434,63	3.598,77	312,94	-	-			
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	20,518	4,627	5	395	0	55,620	500	233,200	5,700	-	-			
	T.S. (%)	2,03%	0,46%	0,0005%	0,04%	0,00003%	6%	0,05%	22%	0,57%	-	-			
ROTA C - 4ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.085,84	3.445,28	262.640,57	84,06	855,20	18,45	65,62	-	0,0069%			
	MASSA (kg/d)	12.314,19	5.195,05	1.731,68	1.627,78	103,90	4.675,54	519,50	4.301,50	374,04	-	-			
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	24,525	5,531	7	472	0	55,620	607	233,200	5,700	-	-			
	T.S. (%)	2,43%	0,55%	0,0006%	0,05%	0,00004%	6%	0,06%	22%	0,57%	-	-			
ROTA C - 5ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.082,83	3.445,28	262.637,55	94,65	844,61	20,77	73,88	-	0,0078%			
	MASSA (kg/d)	13.865,32	5.849,43	1.949,81	1.832,82	116,99	5.264,49	584,94	4.843,33	421,16	-	-			
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	27,614	6,228	7	532	0	55,620	693	233,200	5,700	-	-			
	T.S. (%)	2,73%	0,62%	0,0007%	0,05%	0,00004%	6%	0,07%	22%	0,57%	-	-			

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA C

ROTA C - 6ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.080,51	3.445,28	262.635,23	102,82	836,45	22,56	80,25	-	0,0084%
	MASSA (kg/d)	15.061,31	6.353,99	2.118,00	1.990,92	127,08	5.718,59	635,40	5.261,10	457,49	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	88	29.996	8	578	0	55.620	760	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,009%	2,97%	0,0008%	0,06%	0,00005%	6%	0,08%	22%	0,57%	-	-
ROTA C - 7ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.078,71	3.445,28	262.633,44	109,11	830,15	23,94	85,17	-	0,0089%
	MASSA (kg/d)	15.983,47	6.743,02	2.247,67	2.112,81	134,86	6.068,72	674,30	5.583,22	485,50	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	93	31.833	8	613	1	55.620	812	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,009%	3,15%	0,0008%	0,06%	0,00005%	6%	0,08%	22%	0,57%	-	-
ROTA C - 8ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.077,33	3.445,28	262.632,06	113,96	825,30	25,01	88,96	-	0,0093%
	MASSA (kg/d)	16.694,48	7.042,99	2.347,66	2.206,80	140,86	6.338,69	704,30	5.831,59	507,09	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	98	33.249	9	641	1	55.620	853	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,010%	3,29%	0,0009%	0,06%	0,00005%	6%	0,09%	22%	0,57%	-	-
ROTA C - 9ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.076,27	3.445,28	262.630,99	117,71	821,56	25,83	91,88	-	0,0097%
	MASSA (kg/d)	17.242,71	7.274,27	2.424,76	2.279,27	145,49	6.546,84	727,43	6.023,09	523,75	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	101	34.341	9	662	1	55.620	885	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,010%	3,40%	0,0009%	0,07%	0,00006%	6%	0,09%	22%	0,57%	-	-
ROTA C - 10ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	502,11	939,26	266.075,45	3.445,28	262.630,17	120,59	818,67	26,46	94,13	-	0,0099%
	MASSA (kg/d)	17.665,41	7.452,59	2.484,20	2.335,15	149,05	6.707,33	745,26	6.170,75	536,59	-	-
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	103	35.182	9	678	1	55.620	910	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,010%	3,48%	0,0009%	0,07%	0,00006%	6%	0,09%	22%	0,57%	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA C

ROTA C - 11ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.516,18	502,11	939,26	266.074,81	3.445,28	262.629,54	122,82	816,45	26,95	95,87	-	0,0101%	
	MASSA (kg/d)	28.111,45	17.991,33	7.590,09	2.530,03	2.378,23	151,80	6.831,08	759,01	6.284,60	546,49	-	-	
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	105	35.832	8.081	10	690	1	55.620	6%	0,09%	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,011%	3,55%	0,80%	0,0009%	0,07%	0,00006%	6%	0,09%	22%	0,57%	-	-	-
ROTA C - 12ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.515,70	502,11	939,26	266.074,33	3.445,28	262.629,05	124,53	814,73	27,33	97,21	-	0,0102%	
	MASSA (kg/d)	28.504,10	18.242,63	7.696,11	2.565,37	2.411,45	153,92	6.926,50	769,61	6.372,38	554,12	-	-	
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	107	36.332	8.194	10	700	1	55.620	6%	0,09%	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,011%	3,60%	0,81%	0,0010%	0,07%	0,00006%	6%	0,09%	22%	0,57%	-	-	-
ROTA C - 13ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.515,32	502,11	939,26	266.073,95	3.445,28	262.628,67	125,86	813,41	27,62	98,24	-	0,0103%	
	MASSA (kg/d)	28.806,85	18.436,39	7.777,85	2.592,62	2.437,06	155,56	7.000,07	777,79	6.440,06	560,01	-	-	
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	108	36.718	8.281	10	707	1	55.620	6%	0,10%	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,011%	3,64%	0,82%	0,0010%	0,07%	0,00006%	6%	0,10%	22%	0,57%	-	-	-
ROTA C - 14ª ITERAÇÃO	VOLUME (m³/d)	267.515,03	502,11	939,26	266.073,66	3.445,28	262.628,38	126,88	812,39	27,84	99,04	-	0,0104%	
	MASSA (kg/d)	29.040,29	18.585,78	7.840,88	2.613,63	2.456,81	156,82	7.056,79	784,09	6.492,25	564,54	-	-	
	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	109	37.016	8.348	10	713	0,60	55.620	6%	0,10%	233.200	5.700	-	-
	T.S. (%)	0,011%	3,66%	0,83%	0,0010%	0,07%	0,00006%	6%	0,10%	22%	0,57%	-	-	-

CÁLCULO DE BALANÇO DE MASSA (SST) PARA A ROTA D

SITUAÇÃO ATUAL - 1ª ITERAÇÃO	ÁGUA BRUTA				ADD	ÁGUA CLARIFICADA ESTIMADA			LODO ADENSADO			LODO CENTRIFUGADO				PERDAS OPERACIONAIS / EFLUENTES
	ÁGUA BRUTA	ARLD	ARLF	ÁGUA FILTRADA ESTIMADA		LODO ADENSADO	LÍQUIDO SOBRENADANTE	TORTA CENTRIFUGADA	LÍQUIDO CLARIFICADO	ÁGUA FILTRADA MEDIDA						
VOLUME (m³/d)	262.656,00	1.441,37	3.445,28	257.769,35	100,74	1.340,63	22,10	78,63	257.856,71	1,8605%						
MASSA (kg/d)	6.829,05	6.225,67	570,82	32,56	5.603,10	622,57	5.154,85	448,25	-	-	-	-	-	-	-	
CONCENTRAÇÃO (mg/L)	26	4.334	166	0	55.620	464	233.200	5.700	-	-	-	-	-	-	-	
T.S. (%)	0,003%	0,43%	0,02%	0,00001%	6%	0,05%	22%	0,57%	-	-	-	-	-	-	-	
VOLUME (m³/d)	267.520,54	1.441,37	3.445,28	262.633,90	124,73	1.316,64	27,37	97,36	-	-	-	-	-	-	0,0102%	
MASSA (kg/d)	8.470,69	7.708,32	716,62	45,74	6.937,49	770,83	6.382,49	555,00	-	-	-	-	-	-	-	
CONCENTRAÇÃO (mg/L)	32	5.348	208	0	55.620	585	233.200	5.700	-	-	-	-	-	-	-	
T.S. (%)	0,003%	0,53%	0,02%	0,00002%	6%	0,06%	22%	0,57%	-	-	-	-	-	-	-	
VOLUME (m³/d)	267.515,28	1.441,37	3.445,28	262.628,63	130,63	1.310,74	28,66	101,97	-	-	-	-	-	-	0,0107%	
MASSA (kg/d)	8.871,50	8.073,07	750,53	47,91	7.265,76	807,31	6.684,50	581,26	-	-	-	-	-	-	-	
CONCENTRAÇÃO (mg/L)	33	5.601	218	0	55.620	616	233.200	5.700	-	-	-	-	-	-	-	
T.S. (%)	0,003%	0,55%	0,02%	0,00002%	6%	0,06%	22%	0,57%	-	-	-	-	-	-	-	
VOLUME (m³/d)	267.513,98	1.441,37	3.445,28	262.627,34	132,06	1.309,32	28,98	103,08	-	-	-	-	-	-	0,0108%	
MASSA (kg/d)	8.968,15	8.161,01	758,71	48,43	7.344,91	816,10	6.757,32	587,59	-	-	-	-	-	-	-	
CONCENTRAÇÃO (mg/L)	34	5.662	220	0	55.620	623	233.200	5.700	-	-	-	-	-	-	-	
T.S. (%)	0,003%	0,56%	0,02%	0,00002%	6%	0,06%	22%	0,57%	-	-	-	-	-	-	-	
VOLUME (m³/d)	267.513,67	1.441,37	3.445,28	262.627,02	132,40	1.308,97	29,05	103,35	-	-	-	-	-	-	0,0109%	
MASSA (kg/d)	8.991,45	8.182,22	760,68	48,55	7.364,00	818,22	6.774,88	589,12	-	-	-	-	-	-	-	
CONCENTRAÇÃO (mg/L)	34	5.677	221	0,18	55.620	625	233.200	5.700	-	-	-	-	-	-	-	
T.S. (%)	0,003%	0,56%	0,02%	0,00002%	6%	0,06%	22%	0,57%	-	-	-	-	-	-	-	