

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

POTENCIALIDADE DA RECIRCULAÇÃO DO LODO DE DECANTADORES DE
ALTA TAXA EM ETAs CONVENCIONAIS

WÉRCIO DE FREITAS DIAS

UBERLÂNDIA – MG

2018

WÉRCIO DE FREITAS DIAS

POTENCIALIDADE DA RECIRCULAÇÃO DO LODO DE DECANTADORES DE
ALTA TAXA EM ETAs CONVENCIONAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em
Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em
Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do
título de “Mestre”.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

UFU

Prof. Dr. Hélio Rodrigues dos Santos

UFRN

Prof. Dr. André Luiz de Oliveira
(Co-orientador) - UFU

Prof.(a). Dr(a). Sueli Moura Bertolino
(Orientadora) – UFU

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

D541p
2018 Dias, Wércio de Freitas, 1981-
 Potencialidade da recirculação do lodo de decantador de alta taxa em
 ETAs convencionais / Wércio de Freitas Dias. - 2018.
 78 f. : il.

Orientadora: Sueli Moura Bertolino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.277>
Inclui bibliografia.

1. Qualidade ambiental - Teses. 2. Lodo - Teses. 3. Água - Estações
de tratamento - Teses. 4. Misturas (Química) - Separação - Teses.
I. Bertolino, Sueli Moura, . II. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

CDU: 574

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com imenso amor e carinho, ao meu filho João Gabriel, que diante de sua ingenuidade, soube compreender os momentos em que estive ausente, e em especial a minha querida e amada esposa Gleice, que sempre esteve ao meu lado durante esta caminhada, me ouvindo, aconselhando e incentivando. Amo vocês!!

*No mundo terá aflições,
Coragem, Eu venci o mundo
João 16:33*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido perseverança, força, saúde e sabedoria ao longo deste período.

Ao Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia, por ter me concedido o horário especial de estudante e oportunidade de realização deste projeto, à Diretoria Geral, Diretoria Técnica, Supervisão de Abastecimento de Água e a Gerência de Tratamento de Água e Operações.

A professora Dra. Sueli Moura Bertolino, por ter me aceitado como seu orientado e ter acreditado neste projeto. Ao professor André, pela co-orientação.

Ao programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, por ter proporcionado a realização deste trabalho, bem como todos os professores, os quais tive a oportunidade de conhecer e conviver neste período.

A banca, representada pelos professores Dr. Hudson de Paula Carvalho e Dr. Hélio Rodrigues dos Santos, por ter aceitado o convite para participar da defesa desta dissertação.

Aos professores Dr. Ricardo Amâncio Malagoni e Dr. Natal Junio Pires, como membros suplentes da banca.

Obrigado a Todos!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo geral.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Sistema de tratamento de água de ciclo completo.....	2
2.2 Resíduos gerados pelos sistemas de tratamento da água.....	3
2.3 Quantidade e características dos resíduos das ETAs.....	5
2.4 Tratamento dos resíduos gerados nas ETAs.....	7
2.5 Recirculação da água de lavagem de filtros de ETAs.....	7
2.6 Características das águas de lavagem dos filtros.....	11
2.7 Decantador de alta taxa – DATx.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Área de estudo.....	14
3.2 Delineamento experimental.....	18
3.2.1 Caracterização do manancial de abastecimento.....	19
3.2.2 Caracterização do lodo dos decantadores.....	20
3.2.3 Caracterização da água de lavagem dos filtros.....	22
3.2.4 Ensaio para avaliar a clarificação do lodo por sedimentação.....	23
3.2.5 Ensaio de recirculação do lodo do decantador.....	24
3.2.6 Ensaio de consumo de coagulante.....	29

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Caracterização do manancial de abastecimento.....	31
4.2 Ensaio de turbidez – Lodo do decantador de alta taxa.....	36
4.3 Ensaio de turbidez – Água de lavagem dos filtros.....	38
4.4 Comparação dos ensaios de turbidez do lodo DATx e AFL.....	40
4.5 Caracterização da água de lavagem dos filtros.....	41
4.6 Clarificação do lodo do decantador de alta Taxa.....	44
4.7 Caracterização do lodo bruto e clarificado.....	46
4.8 Ensaio de recirculação do lodo do decantador.....	48
4.9 Ensaio de consumo de coagulante.....	58
5 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXO A.....	76

RESUMO

DIAS, WERCIO DE FREITAS. **Potencialidade da Recirculação do Lodo de Decantadores de Alta Taxa em ETAs Convencionais**. 2018. 78p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG¹.

O tratamento físico-químico da água em ETAs convencionais gera resíduos, denominados de lodo de ETA, cuja destinação constitui um desafio sob os aspectos econômicos, técnicos e ambientais. A disposição deste resíduo pelas ETAs do Brasil tem sido os corpos d'água, portanto, sob a ótica da minimização de impactos ambientais e economia de água, o trabalho avalia a possibilidade de reutilização do lodo de um decantador de alta taxa (DATx), através do procedimento de recirculação. A pesquisa foi desenvolvida com dados da ETA Renato de Freitas, Uberlândia – MG, que apresenta configuração de estação convencional. A caracterização da água de lavagem dos filtros (ALF) foi utilizada como parâmetro norteador para o equacionamento das descargas do lodo do DATx, uma vez que, a recirculação da ALF é uma prática adotada em ETAs. Para isto, foi avaliada a turbidez do lodo do DATx durante a abertura da válvula de descarga para os tempos de operação de 6, 12 e 24 h. Definido o tempo de operação do DATx, para descarga do lodo, foi proposto um pré-tratamento por ensaios de sedimentação, seguido dos ensaios de recirculação do lodo bruto e clarificado, nas taxas de 2 e 4%, em jarras de *Jar Test*. O equacionamento do DATx mostrou que após um tempo de 6h de operação o lodo apresenta turbidez (39 UNT) aproximada ao valor encontrado na ALF (45 UNT) e ausência dos protozoários, *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. Para a taxa de 2%, a recirculação com lodo bruto ou clarificado produziu uma água decantada com valores de turbidez remanescente inferiores a 2,8 UNT. Enquanto, a taxa de 4%, a não clarificação do lodo, conduziu ao maior valor de turbidez remanescente (9 UNT). Os resultados ainda demonstraram ser possível obter redução na dosagem de coagulante de 4 a 13%, mantendo a qualidade da água decantada.

Palavras-chave: Lodo de ETA, Decantador de Alta Taxa, Recirculação

¹ Comitê Orientador: Sueli Moura Bertolino – Universidade Federal de Uberlândia e André Luiz de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia.

ABSTRACT

DIAS, WERCIO DE FREITAS. **Potential of the Recirculation of Sludge from High Rate Decanters in Conventional ETAs.** 2018. 78p. Dissertation (Masters in Environment and Environmental Quality) - Federal University of de Uberlândia. Uberlândia – MG².

The physico-chemical treatment of water in conventional ETAs generates waste, called ETA sludge, whose destination is a challenge under the economic, technical and environmental aspects. The disposal of this residue by Brazilian ETAs has been the water bodies, therefore, from the point of view of the minimization of environmental impacts and water economy, the work evaluates the possibility of reuse of the sludge from a high rate decanter (DATx), through the recirculation procedure. The research was developed with data from ETA Renato de Freitas, Uberlândia - MG, which presents a conventional station configuration. The characterization of the filter wash water (ALF) was used as the guiding parameter for the DATx sludge discharges, since recirculation of the ALF is a practice adopted in ETAs. For this, the turbidity of the DATx sludge during the opening of the discharge valve was evaluated for the operating times of 6, 12 and 24 h. Once the DATx operating time was reached, a pretreatment was proposed for sedimentation tests, followed by the crude and clarified sludge recirculation tests, at 2 and 4% rates, in Jar Test jars. The DATx equation showed that after a 6 hour operation the sludge presented turbidity (39 UNT) approximately to the value found in ALF (45 UNT) and absence of protozoa, *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. At the rate of 2%, recirculation with crude or clarified sludge yielded decanted water with remaining turbidity values below 2.8 NTU. Meanwhile, the 4% rate, the non-clarification of the sludge, led to the highest remaining turbidity value (9 UNT). The results showed that it is possible to obtain a reduction in the coagulant dosage of 4 to 13%, maintaining the quality of the water decanted.

Keywords: ETA Sludge, High Rate Decanter, Recirculation.

²Comitê Orientador: Sueli Moura Bertolino – Universidade Federal de Uberlândia e André Luiz de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Decantador de alta taxa com três canais sobrepostos.....	14
FIGURA 2: Sistema atual de recebimento de lodo da ETA Renato de Freitas.....	16
FIGURA 3: Remoção de lodo da lagoa de sedimentação da ETA Renato de Freitas.....	17
FIGURA 4: Etapas metodológicas.....	18
FIGURA 5: Amostragem no decantador de alta taxa.....	20
FIGURA 6: Amostragem durante a lavagem de um filtro.....	22
FIGURA 7: Representação do ensaio de clarificação por sedimentação.....	23
FIGURA 8: Calibração da bomba dosadora de coagulante.....	26
FIGURA 9: Turbidez – Manancial Rio Uberabinha, no ponto de captação da ETA-RF.....	31
FIGURA 10: Cor – Manancial Rio Uberabinha, no ponto de captação da ETA-RF.....	31
FIGURA 11: Coliformes termotolerantes, no ponto de captação da ETA-RF.....	33
FIGURA 12: Densidade de cianobactérias, no ponto de captação da ETA-RF.....	33
FIGURA 13: Oxigênio dissolvido, no ponto de captação da ETA-RF.....	34
FIGURA 14: DBO - no ponto de captação da ETA-RF.....	34
FIGURA 15: Turbidez do lodo do decantador da ETA-RF em função do tempo.....	36
FIGURA 16: Turbidez média do lodo do decantador da ETA-RF em função do tempo.....	38
FIGURA 17: Turbidez média durante a lavagem de filtro da ETA-RF.....	40
FIGURA 18: Turbidez lodo do decantador e da água de lavagem de filtro da ETA-RF.....	41
FIGURA 19: Remoção de turbidez com taxa de recirculação de 2%.....	49
FIGURA 20: Remoção de cor com taxa de recirculação de 2%.....	49
FIGURA 21: Remoção de turbidez com taxas de recirculação de 2,0; 2,5; 3,0; 3,50 e 4,0 % - Lodo clarificado 5 minutos.....	52

FIGURA 22: Remoção de turbidez com taxa de recirculação de 4%.....	57
FIGURA 23: Remoção de turbidez em diferentes concentrações do coagulante PAC, com taxa de recirculação de 2% e lodo bruto do DATx.....	59
FIGURA 24: Remoção de turbidez com diferentes concentrações do coagulante, com taxa de recirculação de 2% e lodo clarificado por 05 minutos.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Composição do lodo de ETA.....	06
TABELA 2: Características típicas da água de lavagem de filtros de ETA.....	11
TABELA 3: Concentrações de metais em ALF.....	12
TABELA 4: Referências dos métodos analíticos adotados no monitoramento da água bruta do manancial Rio Uberabinha.....	19
TABELA 5: Procedimentos adotados nos ensaios de caracterização na água de lavagem dos filtros e do lodo do decantador.....	21
TABELA 6: Valores adotados para as variáveis rotação e tempo no ensaio de <i>Jar test</i>	25
TABELA 7: Volumes de amostras de água com o coagulante e do lodo para realizar o ensaio de <i>Jar test</i> em diferentes taxas de recirculação.....	28
TABELA 8: Volumes de amostras para realização do ensaio de consumo de coagulante com taxa de recirculação de 2% com lodo bruto.....	33
TABELA 9: Volumes de amostras para realização do ensaio de consumo de coagulante - Taxa de recirculação em 2 % do lodo clarificado por 5 minutos.....	30
TABELA 10: Volumes de amostras para realização do ensaio de consumo de coagulante com taxa de recirculação do lodo em 4 %.....	30
TABELA 11: Ponto de captação de água bruta na ETA RF – Rio Uberabinha.....	35
TABELA 12: Resultados de turbidez durante a lavagem de filtro da ETA-RF.....	39
TABELA 13: Caracterização da água de lavagem de filtro da ETA-RF.....	42
TABELA 14: Turbidez durante ensaio de clarificação do lodo da ETA-RF.....	45
TABELA 15: Caracterização do lodo gerado no decantador da ETA-RF.....	46
TABELA 16: Resultados dos ensaios de recirculação com taxa de 2%.....	48
TABELA 17: Ensaios de recirculação com tempo de clarificação de 5 minutos.....	51
TABELA 18: Caracterização das amostras de água decantada da ETA-RF e do ensaio de <i>Jar test</i> com taxa de 2 % de recirculação.....	53
TABELA 19: Resultados dos ensaios de recirculação com taxa de 4%.....	56

TABELA 20: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo bruto com taxa de recirculação de 2%.....	58
TABELA 21: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo clarificado por sedimentação com taxa de recirculação de 2%.....	60
TABELA 22: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo bruto com taxa de recirculação a 4%.....	62
TABELA 23: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo clarificado por 05 minutos e taxa de recirculação de 4 %.....	63
TABELA 24: Consumo de coagulante na ETA-RF no período de 2013 a 2017.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE - Sociedade Americana de Engenharia Civil
ALF - Água de Lavagem de Filtro
AWWA - Associação Americana com Trabalhos da Água
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DATx - Decantador de Alta Taxa
DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto
DQO - Demanda Química de Oxigênio
EPA - Agência de Proteção Ambiental
ETA - Estação de Tratamento de Água
ETE - Estação de Tratamento de Efluente
Freq. - Frequência
LOC - Licenciamento Ambiental de Caráter Corretivo
LMP - Limite Máximo Permitido
USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
OD - Oxigênio Dissolvido
pH - Potencial Hidrogeniônico
PAC - Cloreto de Poli alumínio
PVC - Poli Cloreto de Vinil
SUPRAM - Superintendência Regional e Regularização Ambiental
RF - Renato de Freitas
RPM - Rotações Por Minuto
TMAP - Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba
uC - Unidade de Cor
UTR - Unidade de Tratamento de Resíduos
NTU - Unidade Neflométrica de Turbidez
VD - Vazão da Bomba Dosadora

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Percentual
Al - Alumínio
Br - Bromo
C - Comprimento
Cél mL⁻¹ - Célula por Mililitros
Cm - Centímetros
Cd - Cádmio
Cl₂ - Cloro
Cr - Crômio
Fe - Ferro
g cm⁻³ - Grama por Centímetro Cúbico
g L⁻¹ - Grama por Litro
h - Hora
HZ - Hertz
Km - Quilômetros
Kg dia⁻¹ - Quilograma por dia
L - Litros
L s⁻¹ - Litros por Segundo
m - Metro
min - Minuto
m m⁻¹ - Concentração massa/massa
m² - Metros Quadrados
m³ - Metros Cúbicos
m³ s⁻¹ - Metro Cúbico por Segundo
m³ dia⁻¹ - Metro Cúbico por Dia
mg L⁻¹ - Miligrama por Litro
µg L⁻¹ - Micrograma por Litro
ml - Mililitros
mm - Milímetros
Mn - Manganês

$\mu\text{g L}^{-1}$ - Micrograma por Litro

O_2 - Oxigênio

UFC mL^{-1} - Unidade Formadora de Colônia por Mililitro

Kg - Quilograma

$^{\circ}\text{C}$ - Graus Célsius

Pb - Chumbo

Pt L^{-1} - Escala Platina Cobalto

Q - Vazão

Zn - Zinco

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados no processo de tratamento da água em ETAs, lodo sedimentado na decantação e água de lavagem de filtros, são classificados com resíduos sólidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004) e seu lançamento *in natura* nos corpos de água é vedado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

A prática de recirculação é uma opção promissora por reduzir a captação de água bruta no manancial, sendo de grande importância nos períodos de seca; minimizar os gastos com o tratamento e/ou disposição destes resíduos; promover a redução do consumo de produtos químicos; melhorar a eficiência do processo de coagulação/floculação do tratamento. Contudo, esta prática deve ser criteriosamente estudada, uma vez que, as características microbiológicas destes resíduos podem acarretar em danos à saúde da população consumidora, principalmente pela presença de cistos e oocistos de protozoários.

Neste contexto, para a recirculação da ALF a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) possui regulamentação específica e estabelece o monitoramento constante da qualidade da ALF, sendo os principais parâmetros microbiológicos analisados, *Giardia* e *Cryptosporidium*. A agência ainda alerta que a definição dos critérios para a implementação da técnica seja definido de acordo com cada ETA, a partir de estudos em escala menores (USEPA, 2002). Alguns estudos envolvendo a técnica de recirculação da ALF destacam fatores tais como, o risco associado à presença de protozoários (Freitas *et al.* 2010); necessidade de pré-tratamento (Cornwell e Lee, 1994; Freitas *et al.* 2010; Zhou *et al.*, 2012). Porém, estudos envolvendo a recirculação do lodo de decantadores ainda são escassos.

A recirculação de lodos pode melhorar a eficiência do processo de floculação em ETAs que apresentam água bruta de baixa turbidez (Chen *et al.*, 2015). Estudos mostram que o processo de remoção de partículas é mais eficiente em águas com turbidez mais elevadas (Yao *et al.*, 2014). Portanto, a presença de espécies hidrolisadas no lodo poderá beneficiar o processo de coagulação e floculação em ETAs situadas em bacias hidrográficas com baixa turbidez, como é o caso da Bacia do rio Uberabinha. Acrescente-se que o reaproveitamento lodo do decantador pode gerar economia nos custos de operação da ETA, tendo em vista que alguns sistemas tradicionais de tratamentos de lodo de ETA podem

variar de 30 a 40% do custo total do sistema de tratamento de água potável da ETA (ROTH, 2008).

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de implementação da recirculação do lodo gerado nos decantadores de alta taxa em uma ETA convencional.

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar as condições da qualidade do manancial de abastecimento público, Rio Uberabinha, no ponto de captação da ETA Renato de Freitas.
- Equacionar o decantador de alta taxa assumindo como parâmetro norteador a caracterização da ALF.
- Avaliar a recirculação do lodo bruto do DATx e após clarificação, em diferentes taxas (2; 2,5; 3,5; e 4%).
- Verificar a redução do consumo de coagulante, diante do processo de recirculação do lodo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de tratamento de água de ciclo completo

As estações de tratamento de água são partes fundamentais dos sistemas de abastecimento de água quando se utilizam os mananciais de superfície. De acordo com VALÊNCIA (2000), a água em sua forma molecular pura não existe na natureza, pois contém substâncias que podem estar em suspensão ou solução verdadeira, segundo o tamanho e a desagregação do material que é carregado. Por outro lado, de acordo como o tipo de impurezas presentes, a água pode aparecer como turvas, com cor, ou ambas. Para OLIVEIRA (2015), a turbidez, propriedade de desviar raios luminosos, é decorrente da presença de matérias em suspensão na água, finamente dividido ou em estado coloidal, e de organismos microscópios. Quando acentuada em águas naturais, impede a penetração dos

raios solares e, conseqüentemente, prejudica a fotossíntese, causando problemas ecológicos para o meio aquático. Segundo o mesmo autor, a cor é uma característica derivada de substâncias em solução, sendo essas, na grande maioria das vezes, de natureza orgânica. Quando aparece presente em uma amostra de água, devido a presença de substâncias dissolvidas e em suspensão, é denominada de cor aparente. Quando a amostra é constituída apenas por substâncias dissolvidas, é denominada de cor verdadeira. Neste sentido, segundo CORDEIRO (1999), o tratamento de ciclo completo é o método de tratamento de água mais difundido no mundo, porque se adapta a maior parte das águas brutas, uma vez que é capaz de remover a maior parte das impurezas comumente presentes nestas.

O sistema operacional de tratamento de ciclo completo, também denominado de tratamento convencional, conforme os processos de captação de água, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, fluoretação e correção de pH (RICHTER, 2009). O tratamento convencional é o mais utilizado no Brasil (CORDEIRO, 1999). Este país possui aproximadamente 7.500 ETAs de abastecimento de ciclo completo (SANTOS, 2012).

2.2 Resíduos gerados pelos sistemas de tratamento da água

De acordo com a NBR 10.004 (2004) o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido. No entanto, apresentam aproximadamente 95% de água em sua constituição (SANTOS, 2012). Água esta, que exige tratamento adequado para ser separada da parte sólida de forma a proporcionar redução dos custos operacionais e, sobretudo, os danos ambientais.

O lodo de ETA é constituído por água, areia, silte, argila, metais e reagentes químicos dissolvidos, oriundos principalmente do próprio processo de tratamento da água, como sais de alumínio de ferro e matéria orgânica (BITTENCOURT *et al.*, 2012). A grande preocupação com o lodo das estações de tratamento de água no Brasil é quanto ao lançamento indiscriminado diretamente nos corpos de água, principalmente nos mananciais superficiais. Na maioria das vezes, os projetos de estações de tratamento, simplesmente ignoram a forma de destinação deste material, que acaba sendo gerenciado em situação emergencial pelos operadores, com altos custos financeiros e ambientais (KATAYAMA, 2012).

O lançamento de resíduos nos mananciais favorece a redução da qualidade da água bruta e a formação de um ciclo vicioso caracterizado pelo consequentemente aumento do uso de produtos químicos no tratamento da água e a geração crescente de volume de resíduos (SANTOS, 2012). Ainda são poucas as ETAs que tem sistemas de tratamento ou de desaguamento de lodo no Brasil, aproximadamente 0,5 % das ETAs (SANTOS, 2012).

Assim, são restritas e limitadas as experiências realizadas no equacionamento dos problemas referentes a este resíduo, sendo grande parte ainda disposta em mananciais sem o devido tratamento (ACHON *et al.*, 2008 e DI BERNARDO *et al.*, 2005). Esta situação, além de condenável do ponto de vista ambiental, é insustentável do ponto de vista legal, tendo em vista o fato de que, sendo o lodo de ETA classificado como resíduo sólido pela NBR 10.004 (2004), seu lançamento sem o devido tratamento no meio ambiente é vedado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, disposta pela Lei nº 12305 (BRASIL, 2010).

Segundo a Sociedade Americana de Engenharia Civil (ASCE, 1996), o lançamento indiscriminado dos resíduos de ETA em corpos de água, contribui para o aumento da concentração de metais tóxicos nos bentos, e limita o teor de carbono disponível para alimentação de macro invertebrados e as altas concentrações de sólidos suspensos diminuem significativamente a luminosidade do meio, reduzindo a produtividade do fitoplâncton nos locais próximos aos pontos de descarga das ETAs. Além de ser potencialmente tóxico e deletério para alguns micro crustáceos, os quais são componentes importantes das comunidades bentônicas e planctônicas, sendo relevantes na alimentação dos peixes. Para Kaggwa *et al.* (2001), outro efeito desses resíduos, é o íon Al^{3+} e a sua propriedade de se ligar fortemente aos fosfatos, o que afeta o ciclo do fósforo, nutriente essencial para a vegetação aquática, plâncton e outros organismos.

De acordo com DI BERNARDO *et al.* (2005), além do impacto nos corpos receptores, o lodo das ETAs pode causar riscos à saúde humana, devido à presença de agentes patogênicos e de metais pesados. Outros problemas com a disposição inadequada, estão associados aos aspectos visuais desagradáveis no corpo receptor, durante o período em que se tem a lavagem de filtros ou limpeza de decantadores e ao uso da água a jusante como fonte de abastecimento de outras comunidades, ou para irrigação.

A potencial toxicidade dos resíduos gerados nas ETAs é decorrente principalmente do tipo de solo da bacia do manancial, do tipo de ocupação da área da bacia hidrográfica

(pecuária, agricultura e indústria) e das características dos produtos químicos utilizados. Destacando-se a presença de diversos metais e compostos orgânicos presentes inicialmente na água bruta ou gerados em função do uso de oxidantes, forma de remoção e tempo de permanência dos resíduos nos decantadores, características hidráulicas, físicas, químicas e biológicas do corpo receptor.

Assim, considerando a carência de água em muitas regiões do Brasil e o impacto dos resíduos gerados das ETAs nos corpos d'água com possível comprometimento da qualidade de potencial fontes de abastecimento, torna-se fundamental o tratamento desses resíduos e a disposição adequada dos sólidos produzidos.

2.3 Quantidade e características dos resíduos

Conforme ASCE-AWWA (1996), os resíduos gerados em ETA podem ser divididos em quatro grandes categorias: i) resíduos gerados durante processos de tratamento de água visando à remoção de cor e turbidez; em geral, os resíduos dessa categoria englobam os lodos dos decantadores e a água de lavagem dos filtros; ii) resíduos gerados durante processos de abrandamento; iii) resíduos gerados em processos de tratamento avançado visando à redução de compostos orgânicos presentes na água bruta, destacando-se o carvão em pó ativado e em pó saturado; iv) resíduos gerados durante processos de redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, como os processos de membrana (osmose reversa, ultrafiltração e nanofiltração).

A quantidade de resíduos gerados pode compreender entre 2 a 10% do volume total água tratada na ETA (USEPA, 2002 e Raj *et al.*, 2008). Somente a água de lavagem de filtros, pode-se ter um consumo entre 2 e 5% do volume de água bruta aduzida por dia (Freitas *et al.*, 2010).

Para DI BERNARDO *et al.*, (2005) em uma ETA de ciclo completo, basicamente os resíduos gerados são provenientes das limpezas ou descargas de decantadores e da lavagem dos filtros. Em termos volumétricos, a maior quantidade é proveniente da lavagem dos filtros. No entanto, em termos mássicos, a maior quantidade de lodo produzido é gerada no sistema de separação sólido-líquido que, em uma estação de ciclo completo, é basicamente efetuada nos decantadores. Cada linha geradora de resíduos, apresenta

características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razão pela qual diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas.

A quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos em uma ETA dependem de vários fatores, destacando-se: qualidade da água bruta, tecnologia de tratamento, características da coagulação (tipo e dosagem de coagulante e de alcalinizante), característica de dosagem do auxiliar de coagulação, do oxidante e do adsorvente (carvão ativado em pó), método de limpeza dos decantadores, método de lavagem dos filtros, habilidade dos operadores, automação de processos, operações na ETA e reuso da água recuperada no sistema de tratamento.

De acordo com CORDEIRO (2002), a caracterização dos resíduos pode ser realizada conforme sua importância e o objetivo do estudo, de acordo com: i) aspectos ambientais associados à disposição dos resíduos como pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, pesticidas, fertilizantes e compostos orgânicos voláteis; ii) aspectos geotécnicos relacionados à remoção de água e futuras utilizações dos sólidos dos resíduos como tamanho e distribuição das partículas, limite de plasticidade e de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade. De acordo com Babatunde *et al.* (2006), o lodo de ETA apresenta parâmetros com valores próximos ao descritos na Tabela 1.

TABELA 1: Composição do lodo de ETA.

Parâmetro	Unidade	Lodo que utiliza coagulante a base de alumínio		Lodo que utiliza coagulante a base de ferro	
		<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
Alumínio	% ⁽¹⁾	29,7	13,3	10,0	4,8
Ferro	% ⁽¹⁾	10,2	12	26,0	15,5
pH	-	7,0	1,4	8,0	1,6
DBO	mg L ⁻¹	45	104	A.D	-
Chumbo	mg kg ⁻¹	44,1	38,2	19,3	25,3
Cádmio	mg kg ⁻¹	0,5	-	0,48	0,26
Cromo	mg kg ⁻¹	25,0	20,1	25,7	21,6
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	2500 - 52345	-	2132 - 5074	-

(1): Amostra de lodo seca.

Ressalta que a constituição do lodo de ETASs é variável de acordo com as características específicas da água bruta, com o sistema utilizado para o tratamento e com

as diferenças etapas e procedimentos de tratamento, a partir dos quais o resíduo é formado. Estas diferenças conferem variações na composição do lodo. Segundo Cofie *et al.* (2006), as principais micro propriedades utilizadas para caracterização do lodo de ETA são temperatura, pH, turbidez, cor, DQO, DBO, concentração de sólidos e metais como Al, Fe, Pb, Cr, Cd e Mg.

2.4 Tratamento de resíduos gerados em ETAs

Os sistemas de tratamento mais utilizados são as lagoas de lodo, leitos de drenagem e secagem, centrífugas, filtros prensa e filtros a vácuo (Kuroda *et al.*, 2014). Os custos de implantação de sistemas de tratamento de lodos em estações de tratamento de água podem variar de 30 a 40% do custo total do sistema de tratamento (ROTH, 2008). Fator este que favorece o não interesse em se promover investimentos e planejamento quanto aos mecanismos de tratamento dos resíduos. Destaca-se também, que para implantação de quaisquer dos modelos propostos na literatura, para tratamento dos resíduos gerados nas ETAs, devem ser considerados variáveis como espaço territorial, disponibilidade financeira, clima e outras variáveis dependentes das características e exigências do lodo, as quais devem ser avaliadas em escala laboratorial, antes da implantação (ACHON *et al.*, 2008).

2.5 Recirculação da água de lavagem de filtros de ETAs

Os principais resíduos produzidos em estações de tratamento de água do tipo convencional de ciclo completo são o lodo gerado nas unidades de decantação e a água de lavagem de filtros. Em geral o lodo descarregado pelas unidades de sedimentação, apresenta baixa vazão e alta concentração de sólidos, ao passo que a água de lavagem dos filtros tem elevada vazão e baixa concentração de sólidos (FILHO, 2017).

Assim, em virtude de sua baixa concentração de sólidos totais em suspensão, e considerando que seu consumo se situa entre 2 e 5% do volume de água bruta aduzida por dia (Freitas *et al.*, 2010), justifica-se, sempre que possível, o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros pelo processo de tratamento KAWAMURA (2000). Inclusive este tem sido um dos maiores motivos da implantação de sistemas de tratamento de água de lavagem

dos filtros, ter recebido grande atenção nos últimos tempos (FILHO, 2017). Neste cenário, destaca-se a técnica de recirculação da água de lavagem dos filtros de ETA, pois requer menores custos de investimentos operacionais quando comparado a outros procedimentos.

Este procedimento consiste na recirculação da água de lavagem dos filtros da ETA para o início do tratamento. De acordo com FILHO (2017), a recuperação da água de lavagem de filtros através de recirculação, pode ocorrer de duas formas: i) recirculação integral sem a separação de sólidos e ii) recirculação após clarificação. Como a água utilizada para a retro lavagem de filtros rápidos pode representar cerca de até 5%, ou mais, do volume total de água tratada (FREITAS *et al.*, 2010), ocasionando, assim, na geração de grandes volumes de resíduos em curto espaço de tempo. Neste sentido, sob a ótica da minimização de impactos ambientais e da economia de água, tem crescido o interesse pela recirculação da água de lavagem de filtros (FREITAS *et al.*, 2010).

Nos Estados Unidos, a prática de recirculação de ALF é objeto de regulamentação específica (USEPA, 2002), muito embora não sejam estabelecidos critérios explícitos de tratamento ou de qualidade da água. Em termos gerais, recomenda-se que a recirculação da ALF seja realizada com os devidos cuidados, dentre os quais se destacam a clarificação e o controle da razão de recirculação, com o intuito de impactar da menor forma possível a qualidade final da água tratada (FREITAS, 2007). No Brasil, não se dispõe de normas técnicas ou legislação específica para o tratamento e recirculação de ALF, mas, por outro lado, são crescentes o interesse e a implantação em escala real dessa prática (FREITAS *et al.*, 2010).

As estações de tratamento de água das cidades de Franca (SP) e Santa Bárbara do Oeste (SP) já utilizam, em seus sistemas, da técnica de recirculação água de Lavagem de filtros (DI BERNARDO *et al.*, 2005). De acordo com FILHO (1997), as ETAs do Guaraú e Alto da Boa Vista, ambas responsáveis pelo abastecimento de água de parte da Região Metropolitana da Grande São Paulo, realizam com sucesso o reaproveitamento de 100% de suas águas de lavagem de filtros. Saron *et al.* (1997), relatam que a ETA Guaraú produz 1,5% do total de água bruta em forma de água de lavagem de filtro, e a recirculação deste resíduo sem prévia sedimentação pode fornecer uma redução de até 10% na dosagem de sulfato de alumínio utilizado no tratamento. Diz ainda que na produção, em média, de $33,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água tratada, a redução da adição de coagulante é de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

Tal fato ocorre pela presença do aumento dos sítios de colisão das partículas desestabilizadas do coagulante com os sítios negativos da água bruta, contribuindo para maior agregação de partículas, aumentando a eficiência nos processos de coagulação, floculação e sedimentação (Suman *et al.*, 2012, Raj *et al.*, 2008 e Oliveira *et al.*, 2013). De acordo com Chen *et al.* (2016), este processo melhora significativamente a eficiência da coagulação, incluindo remoção de material orgânico, podendo também auxiliar na remoção de microrganismos conforme relata Arora *et al.*, 2001 e Cornwell e MacPhee, 2001.

Ao se realizar o procedimento de recirculação da água de lavagem de filtros, alguns cuidados devem ser observados, sobretudo, à qualidade dos produtos químicos utilizados no tratamento da água. Estes produtos devem estar em conformidade com a NBR 15784 (2017) para que não haja risco de potencializar e implicar em danos adversos à saúde da população consumidora. Torna-se importante monitorar cistos de oocistos de protozoários, principalmente *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp, pois devido à forma de cistos e dimensões reduzidas, podem passar pelos filtros da ETA sendo pouco suscetíveis à dosagem de cloro (Arora *et al.*, 2001 e USEPA, 2002). A recirculação da ALF de filtros pode aumentar também, as concentrações de ferro, manganês, carbono orgânico total e trihalometanos (Bourgeois *et al.*, 2004).

No estudo realizado por Arora *et al.* (2001), avaliou-se a presença de *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp na água bruta da ALF de algumas ETAs nos Estados Unidos. Os resultados apontaram, que em 30% das amostras de água bruta e 8% das amostras da AFL encontrou-se *Giardia* spp. Em relação à oocistos de *Cryptosporidium* spp, encontrou-se em 5% das amostras de água bruta e em 5,6% das amostras de água de lavagem de filtros, e que as concentrações de protozoários encontradas na água bruta, foram de aproximadamente cinco vezes menores do que na ALF.

Considerando que o processo de filtração é a principal etapa do tratamento responsável pela retenção destes microrganismos, assim, a água de retrolavagem dos filtros, poder vir a apresentar concentrações elevadas destes protozoários. Neste sentido, se torna importante o seu monitoramento (Raj *et al.*, 2008). Freitas *et al.* (2010), realizaram ensaios de clarificação em colunas de sedimentação com a água de lavagem dos filtros e concluíram que este procedimento minimiza a presença de *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp.

O tratamento da água de lavagem de filtros, antes de se propiciar a recirculação, contribui para diminuir os riscos associados à *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp (USEPA, 2000). No trabalho realizado por Aguirre (2003), não foram detectados oocistos de protozoários na água de lavagem de filtros em um ETA de Campinas-SP. Segundo o autor, a não ocorrência destes organismos, ocorreu provavelmente pela eficiência de remoção nas unidades anteriores do tratamento. Desta forma, os cistos e oocistos não estariam atingindo os filtros da ETA, contribuindo para que a ALF estaria livres destes organismos.

Fator importante a ser monitorado, também, em relação à recirculação da água de lavagem de filtros é o que relaciona à taxa de recirculação, a qual deverá estar adequada (FREITAS, 2007). Pois a proporção recirculada poderá impactar na qualidade final da água tratada (Braga *et al.*, 2006). Freitas *et al.* (2010), em uma ETA piloto simularam ensaios com proporções de 5, 10, 15, e 20% em relação ao volume de água tratada, enquanto Gottfried *et al.* (2008), através de ensaios de *Jar test*, realizaram testes laboratoriais trabalhando com proporções de 5 e 10% em ETA. Nos Estados da Califórnia e de Ohio, recomenda-se que a vazão de recirculação seja inferior a 10% da vazão da estação de tratamento de água e no Estado de Maryland, inferior a 5% após clarificação com aplicação de polímeros (Freitas *et al.*, 2010).

Em uma ETA piloto Chen *et al.* (2016), desenvolveram um estudo para verificar o comportamento de ETA que utilizavam a recirculação da água de lavagem de filtros, quanto aos riscos associados a genotoxicidade, sobretudo a formação em potencial de trihalometanos. Diante dos resultados apresentados, ponderaram que o processo de recirculação não aumentou o risco de genotoxicidade em relação ao processo tradicional. Cornwell e Lee (1993) e Kawamura (2000), sugerem que a vazão de recirculação seja condicionado em no máximo 10% da vazão da ETA.

Porém em USEPA (2002), relata-se que a percentagem deve ser estabelecida individualmente para cada ETA, com o intuito de impactar da menor forma possível na qualidade final da água. Petersen e Calhoun (1995) recomendam a partir de seus estudos, que a recirculação da água de lavagem de filtros seja feita de forma ininterrupta para não comprometer a qualidade e eficiência do tratamento da água.

2.6 Características das águas de lavagem dos filtros

As características da água de lavagem dos filtros de ETA variam de estação para estação, dependendo das impurezas contidas na água bruta, do tipo de coagulante e dos condicionantes químicos utilizados no tratamento da água. Por meio da Tabela 2, é possível visualizar algumas características físicas e químicas típicas de ALF.

TABELA 2: Características típicas da água de lavagem de filtros de ETA.

Parâmetro	Unidade	Intervalo de Valores
Turbidez	NTU	50 - 170
DQO	mg L ⁻¹	30 - 50
pH	-	6,9 – 8,0
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	90 - 370
Sólidos Fixos	mg L ⁻¹	70 – 160
Sólidos Voláteis	mg L ⁻¹	20 – 210

Fonte: Adaptado Di Bernardo *et al.* (2002).

A turbidez é um parâmetro bastante utilizado para avaliar as características da AFL, principalmente devido à sua simplicidade de análise (FREITAS, 2007). Di Bernardo *et al.* (2002), relatam que turbidez média da ALF pode variar de 50 a 170 NTU. De acordo, com KWAMURA (2000), a turbidez da água de lavagem de filtros de ETA varia entre 150 e 250 NTU. Na pesquisa de Le Goullec *et al.* (2004), em planta de ETA, a turbidez variou entre 24 e 126 NTU. Bastos *et al.* (2005), em trabalho realizado na ETA da Universidade Federal de Viçosa, encontraram como valor médio de turbidez para ALF de 103 NTU. Tobiasson *et al.* (2003), observaram variações de turbidez média das amostras compostas de 150 a 400 NTU.

A determinação da concentração de metais em resíduos de ETA, lodo de decantador e na água de lavagem de filtros, se torna importante, pois a presença destes pode afetar o reuso ou disposição. Neste contexto, tem-se o impacto pela disposição dos lodos em aterros sanitários e se forem enviados para o sistema de esgotamento sanitário do município pode ocasionar a inibição do tratamento biológico da ETE (SOUZA FILHO, 1998). Na Tabela 3,

estão agrupados os resultados da concentração de metais encontrados por alguns autores em trabalhos referentes à água de lavagem de filtros de ETA.

TABELA 3: Concentrações de metais em ALF.

<i>Referência</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Concentração</i>
Souza Filho (1998)	Fe	mg L ⁻¹	700
	Mn	mg L ⁻¹	2,20
	Zn	mg L ⁻¹	2,00
	Pb	mg L ⁻¹	0,60
Arora <i>et al.</i> , (2001)	Br	mg L ⁻¹	0,027
	Al	mg L ⁻¹	14,80
	Fe	mg L ⁻¹	9,10
	Zn	mg L ⁻¹	0,10
	Mn	mg L ⁻¹	1,40
Tobiason <i>et al.</i> , (2003)	Al	mg L ⁻¹	160
	Mn	mg L ⁻¹	1,23

A concentração de sólidos na ALF pode oscilar significativamente dependendo das características da água bruta, da dosagem e do coagulante utilizado na estação de tratamento de água. A concentração de sólidos de acordo com Sacalize (1997), variou de 50 a 300 mg L⁻¹, atingindo valores de até 500 mgL⁻¹, enquanto Bashaw *et al.* (2000), encontraram valores de 300 mg L⁻¹ e média de 71 mg L⁻¹. No trabalho de Tobiason *et al.* (2003), registrou-se valores de 700 mg L⁻¹. Na pesquisa de Tobiason *et al.* (1999), foram obtidos eficiências variando de 600 a 7.000 mg L⁻¹

O procedimento de recirculação da ALF para o início o processo de tratamento da ETA, permitirá redução de água bruta captada no manancial e os resíduos deixarão de ser descartados em corpos hídricos, gerando assim benefícios econômicos e ambientais (Junior *et al.*, 2014). Para Freitas *et al.* (2017), uma opção de destinação da ALF e do lodo de ETA é a recirculação na própria estação. Tal medida contribui para a diminuição do seu lançamento no meio ambiente, favorece a economia de água, proporciona a redução do consumo de produtos químicos, melhora sedimentabilidade dos flocos, e

consequentemente, reduz os custos de tratamento de água, sendo que a recirculação pode ser contínua ou não, com ou sem processo de clarificação. A recirculação das águas de lavagem de filtros contribui para elevação na concentração de partículas, favorecendo a formação dos flocos mais resistentes (Gottfried *et al.*, 2008), principalmente em períodos em que a turbidez da água bruta estiver com eficiências mais baixas (Xiao *et al.*, 2009).

De acordo com Freitas *et al.*; 2017, apud Cornwell e MacPhee (2001) avaliaram-se os efeitos causados pelo aumento de partículas com a recirculação de ALF, em uma instalação piloto convencional com água bruta de turbidez inferior a 5 NTU, os resultados sugeriram que a turbidez adicional na água bruta pela recirculação do efluente, pode auxiliar no processo de tratamento, elevando a remoção de (oo)cistos de protozoários e da turbidez. Neste trabalho, a clarificação dos resíduos antes da recirculação não foi necessária e mostrou-se essencial para obter um efluente final de melhor qualidade.

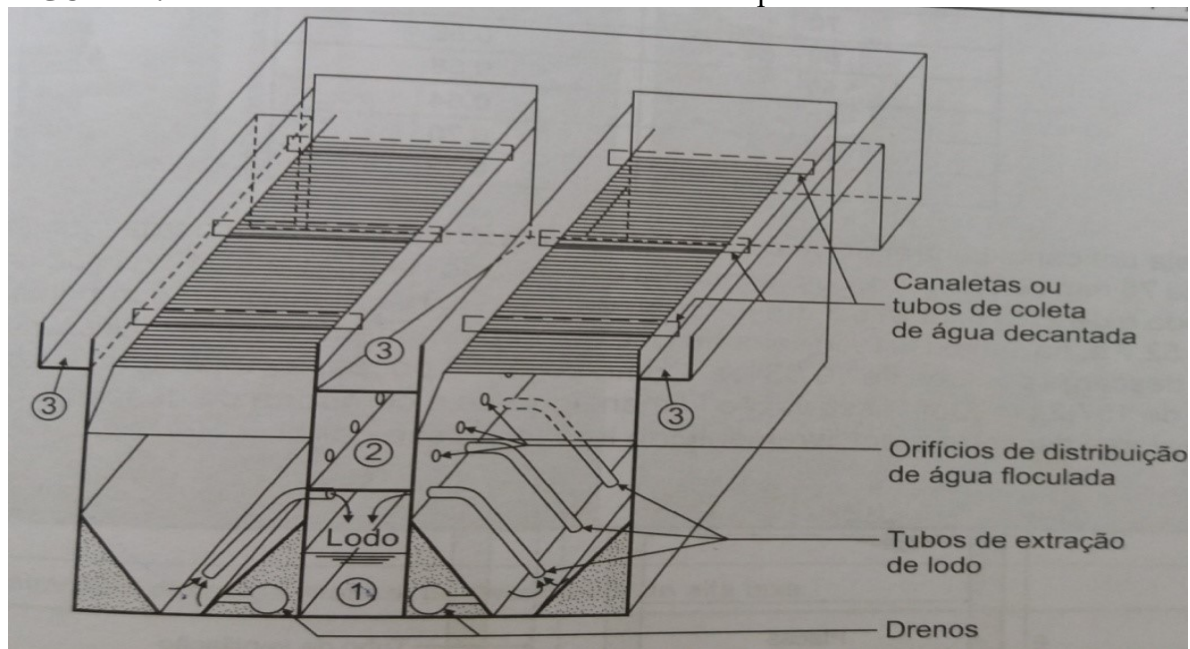
2.7 Decantador de alta taxa - DATx

Decantadores de alta taxa são providos de elementos tubulares para direcionar o fluxo de água floculada, resultando em uma trajetória mais regular, exigindo assim, um menor tempo para a sedimentação. A água floculada entra na parte inferior no tanque, escoando no sentido vertical e é coletada na superfície (NETO, 1991). O decantador de alta taxa apresentará rendimentos superiores, em termos de qualidade de água decantada, quando comparado com o sistema convencional. A literatura descreve diferentes modelos de decantação de alta taxa, contudo será dada ênfase ao decantador de alta taxa com três canais sobrepostos, por ser objeto de estudo desta dissertação de mestrado.

2.7.1 Decantador de alta taxa com três canais sobrepostos

Na Figura 1 é ilustrado o sistema de decantação de alta taxa, com três canais sobrepostos. Neste sistema, tem-se uma maior eficiência na retenção de flocos sedimentados, quando comparado com os decantadores de fluxo horizontal (NETO, 1991; RICHTER, 2009) e também não há necessidade de esvaziamento do tanque para remoção do lodo.

FIGURA 1: Decantador de alta taxa com três canais sobrepostos.



Fonte: Di Bernardo 2005.

No decantador de alta taxa, devido ao seu arranjo hidráulico, é possível promover a retirada do lodo decantado de uma forma mais gradativa, de acordo com a necessidade operacional da ETA. Este procedimento é denominado de descarga do decantador, sendo possível obter lodo com concentrações de sólidos de diferentes valores. De acordo com RICHTER (2009), é alta a concentração de sólidos no lodo dos decantadores convencionais, ao passo que nas unidades de remoção contínua de lodo, que é o caso do decantador de alta taxa, estes valores são menores e podem se aproximar dos valores típicos da água de lavagem dos filtros de ETA.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Este projeto de mestrado foi desenvolvido com dados da estação de tratamento de água Renato de Freitas (RF) do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). As informações necessárias, foram cedidas e aprovadas pela Diretoria do DMAE. A ETA Renato de Freitas possui sistema de tratamento convencional (captação de água

bruta, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH). A captação de água bruta é de superfície e o manancial é o Rio Uberabinha, que está inserido na bacia hidrográfica do Rio Araguari. No ponto de captação da ETA, o Rio Uberabinha é classificado como classe 2, de acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005.

As obras de construção da ETA Renato de Freitas, iniciaram-se em 1967 e concluídas em 1973. Seu projeto original, foi efetuado contemplando em primeira etapa uma vazão nominal igual a 600 L s^{-1} . Após ampliações e readequações, a mesma possui condição máxima nominal de tratamento atual de 1.400 L s^{-1} , e vazão média anual de tratamento, de aproximadamente 1.050 L s^{-1} . É responsável pelo fornecimento de água potável para aproximadamente 315.000 habitantes do município de Uberlândia-MG, agregando também o principal setor industrial.

As coletas foram realizadas durante as descargas do decantador, momento este em que é gerado o lodo, e na água de lavagem de filtro da ETA.

3.1.2 Resíduos gerados na ETA Renato Freitas

A ETA Renato de Freitas não possui instalado um sistema clássico e convencional de tratamento do lodo gerado nos decantadores. Porém, os projetos dessas estruturas já foram elaborados, para que possam atender a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 153, de 26 de julho de 2010, que convoca os municípios para a regularização ambiental de sistemas de tratamento de água e dá outras providências.

No projeto é proposto para o lodo dos decantadores, a execução de uma unidade de tratamento de resíduos (UTR) nas adjacências da ETA, tendo como finalidade a aplicação de tratamento físico-químico (adensamento do lodo utilizando polímeros, decantação e centrifugação).

O lodo produzido seria encaminhado para um tanque de recebimento, sendo daí elevados à fase de tratamento, que compreenderia os seguintes processos: i) fase de floculação, com adição de polímero em câmara de mistura rápida e floculação em duas câmaras e ii) adensamento do lodo em dois adensadores de operação em paralelo, sendo o sobrenadante direcionado ao início do processo de tratamento da ETA para

reaproveitamento. Neste projeto de dissertação, avaliou-se à contribuição do lodo e do sobrenadante do decantador de alta taxa, na etapa de coagulação e floculação da ETA RF.

3.1.3 Condição atual dos resíduos gerados pela ETA Renato Freitas

No ano de 2010, a ETA Renato de Freitas passou por um processo de Licenciamento Ambiental de caráter Corretivo (LOC). Por meio desta, o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, concedeu a ETA, após vários estudos técnicos, a Licença de Operação em Caráter Corretivo, com autorização de intervenção em área de preservação permanente, para o funcionamento de atividade de tratamento de água para abastecimento público.

A Licença foi emitida com condicionantes, onde se destaca que em relação à questão do lodo gerado na limpeza dos floculadores e das descargas dos decantadores fosse proposto um tratamento preliminar, até a conclusão das intervenções previstas nos projetos executivos, citados anteriormente. Desta forma, como previsto na Licença Ambiental, o resíduo gerado na limpeza dos floculadores e na descarga dos decantadores de alta taxa, seriam direcionados para uma lagoa de decantação, conforme exposto na Figura 2.

FIGURA 2: Sistema atual de recebimento de lodo da ETA Renato de Freitas.



A lagoa promove a separação dos sólidos, que ficam sedimentados parcialmente, tem um volume útil de 1500 m³. O sobrenadante com teor de sólidos reduzidos é direcionado, através de extravasor, para o curso d'água do Rio Uberabinha, a jusante do ponto de captação da ETA. Para remoção do lodo sedimentado, utiliza-se caminhões equipados com bomba de sucção, que promovem a retirada do material (Figura 3) encaminhando para o emissário de esgotamento sanitário do município, para posterior tratamento na estação de tratamento de efluentes (ETE).

FIGURA 3: Remoção de lodo da lagoa de sedimentação da ETA Renato de Freitas.



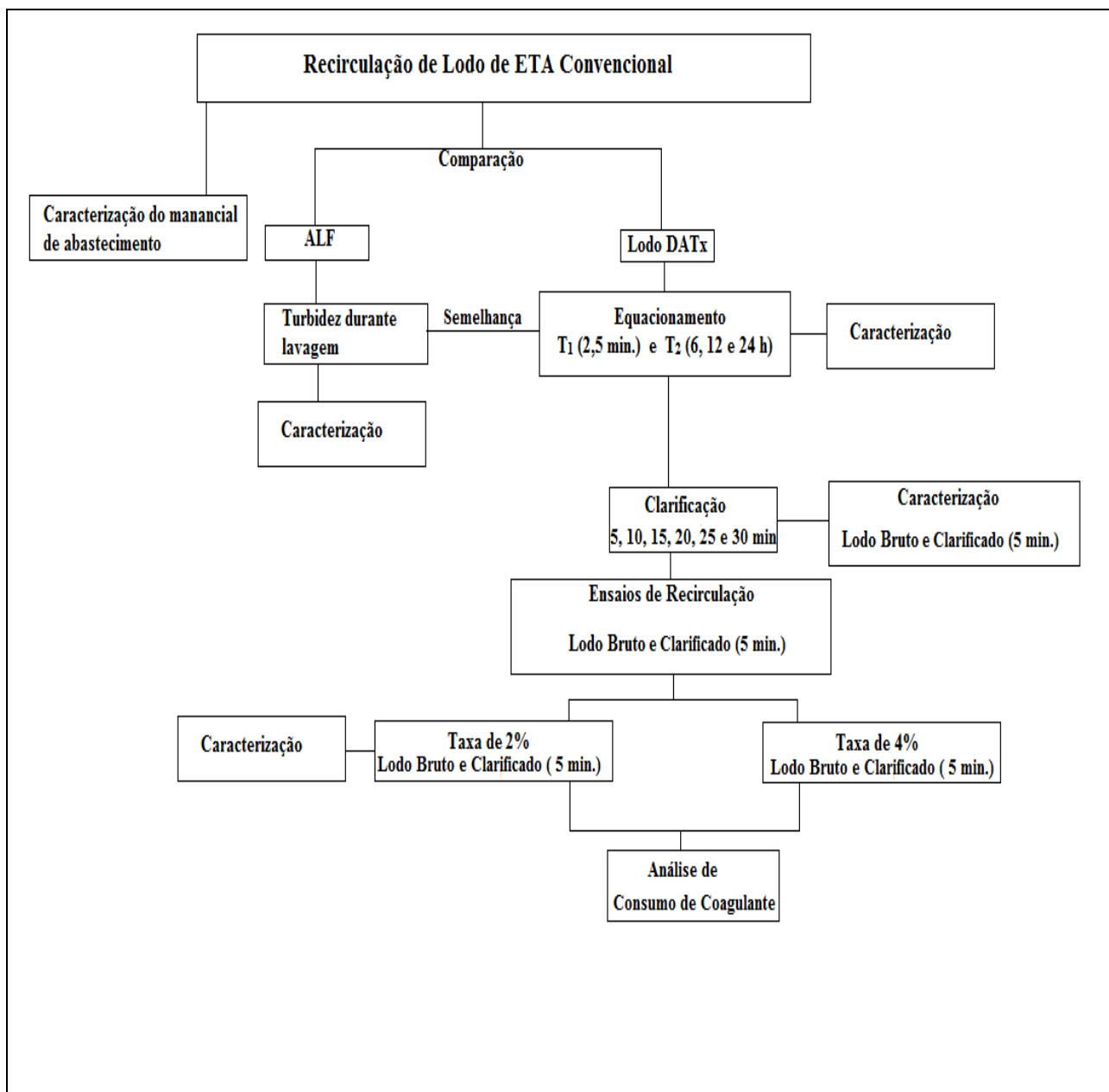
3.1.4 Operação da ETA Renato de Freitas

A operação da ETA Renato de Freitas compreende as diretrizes do processo de ciclo completo que abrange as etapas de captação de água bruta, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoretação, correção de pH e posterior reservação e tem como referência o manual técnico operacional da ETA.

3.2 Delineamento Experimental

As etapas desenvolvidas durante a pesquisa são apresentadas no fluxograma da Figura 4.

FIGURA 4: Etapas Metodológicas



3.2.1 Caracterização do manancial de abastecimento

A qualidade do manancial foi analisada pelos relatórios gerados na ETA Renato de Freitas referente ao período de janeiro de 2011 a dezembro de 2016, para os parâmetros, físico-químicos e biológicos, para água de classe 2, segundo Resolução do CONAMA 357/2005. Na ETA - RF, os ensaios dos parâmetros de qualidade da água, são realizados por laboratório acreditado pela ABNT NBR 17025, sendo determinados conforme procedimentos especificados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22th Edition 2012) e Environmental Protection Agency (EPA) de acordo com os métodos analíticos apresentadas na Tabela 4. As coletas foram realizadas no canal de água bruta da ETA - RF, a jusante do ponto de captação do Rio Uberabinha.

TABELA 4: Referências dos métodos analíticos adotados no monitoramento da água bruta do manancial Rio Uberabinha.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação (LQ)	Método Analítico
Cor verdadeira	uC	3,0	SMWW 2120 B
Turbidez	NTU	0,20	SMWW 2130 B
DBO ₅ ²⁰	mg L ⁻¹	2,00	SMWW 5210 B
OD	mg L ⁻¹	0,1	SMWW 4500 C
Cianobactérias	Cél mL ⁻¹	-	SMWW 10200 F
Coliformes Termotolerantes	UFC mL ⁻¹	1,00	SMWW 9220 B
Arsênio total	mg L ⁻¹	0,005	SMWW 3114 C
Cádmio total	mg L ⁻¹	0,001	SMWW 3120 B
Chumbo total	mg L ⁻¹	0,006	SMWW 3120 B
Cromo total	mg L ⁻¹	0,01	SMWW 3120 B
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,05	SMWW 4500 P E
Mercúrio total	mg L ⁻¹	0,0002	SMWW 2130 B
Atrazina	µg L ⁻¹	0,10	EPA 8270D:2007
Carbaril	µg L ⁻¹	0,01	EPA 531.2
Endrin	µg.L ⁻¹	0,004	EPA 8270D:2007
Glifosato	µg L ⁻¹	0,10	EPA 547

3.2.2 Caracterização do lodo dos decantadores

O equacionamento do decantador de alta taxa foi realizado a fim de verificar em qual condição operacional a concentração de sólidos no lodo atingirá valores semelhantes à da água de lavagem dos filtros da ETA.

As condições referenciais de funcionamento do decantador de alta taxa da ETA foram fornecidas pelo seu manual de operações. Para o tempo de abertura de cada válvula de descarga do lodo (denominado de T_1), o mesmo recomenda que não deve ultrapassar 2,5 minutos. Enquanto, o tempo de intervalo entre uma descarga e outra (T_2), de um mesmo módulo, pode variar de 6 a 24 horas.

Neste estudo avaliou-se o intervalo de descarga nos tempos (T_2) de 6, 12 e 24 horas, com um tempo máximo de abertura da válvula de 3,0 minutos. Decorridos os tempos T_2 , a válvula de descarga era aberta (Figura 6) e no momento em que se atingia situação de abertura máxima, coletava-se alíquotas de aproximadamente 200 mL, em intervalos de 20 segundos. Neste procedimento de amostragem (Figura 5) utilizou-se um coletor com braço retrátil de aço inox (BRANDÃO, 2011). As amostras foram levadas ao laboratório da ETA, para posterior leitura de turbidez (método analítico SMWW 2130 B).

FIGURA 5: Amostragem no decantador de alta taxa.



Estes ensaios foram realizados nos meses de dezembro de 2016 e janeiro de 2017, período do ano de maior turbidez do manancial (média de 7,85 NTU). As coletas foram realizadas sempre no mesmo módulo de decantação.

Após definidos os tempos de operação T_1 e T_2 , uma amostra representativa e composta foi coletada a fim de caracterizar o lodo bruto do decantador. As alíquotas foram acondicionadas em um balde plástico. A caracterização foi avaliada de acordo com os parâmetros da Tabela 5. As análises foram realizadas conforme métodos especificados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22th Edition 2012) e Environmental Protection Agency (EPA).

TABELA 5: Procedimentos adotados nos ensaios de caracterização na água de lavagem dos filtros e do lodo do decantador.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação (LQ)	Método Analítico
Alumínio Total	mg L ⁻¹	0,05	SMWW 3120 B
Coliformes Totais	NMP 100mL ⁻¹	1	SMWW 9223 B
DQO	mg L ⁻¹	20,00	SMWW 5220 D
Escherichia coli	NMP 100mL ⁻¹	1	SMWW 9223 B
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,10	SMWW 3120 B
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,03	SMWW 3120 B
Giardia spp.	cistos L ⁻¹	1	EPA – 1623:2012
Cryptosporidium spp.	cistos L ⁻¹	1	EPA – 1623:2012
pH	-	1 - 13	SMWW 4500 H+B
Sólidos Suspensos Totais	mg L ⁻¹	10,00	SMWW 2540 D
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	0,1	SMWW 2540 F
Turbidez	NTU	0,20	SMWW 2130 B

3.2.3 Caracterização da água de lavagem dos filtros

Para coletar as amostras da água de lavagem de filtros, foi escolhido um filtro da ETA Renato de Freitas, num total de 12 unidades filtrantes. Ao iniciar a lavagem, no momento em que se começava a verter o efluente na calha de descarte (Figura 6), iniciou-se as coletas em um intervalo inicial de 30 segundos até o tempo de 4 minutos, e depois deste, a cada 60 segundos até o termino da lavagem do filtro que foi de 9 minutos. Coletou-se amostras de aproximadamente 200 mL, utilizando o coletor com braço retrátil de inox (Figura 6). As amostras foram levadas ao laboratório da ETA, para posterior leitura de turbidez (método analítico SMWW 2130 B).

FIGURA 6: Amostragem durante a lavagem de um filtro.



Para caracterização físico-química e biológica da ALF, amostras foram coletadas no momento em que se começava a verter o efluente na calha de descarte (Figura 6) por um período de 9 minutos, havendo coletas individuais a cada 20 segundos, utilizando o coletor com braço retrátil de aço inox. Cada alíquota de aproximadamente 500 mL era transferida para um balde plástico, de forma a assegurar uma única amostra representativa e composta do efluente gerado no intervalo adotado na lavagem do filtro da ETA. A caracterização foi

avaliada para os mesmos parâmetros analisados para o lodo do decantador de alta taxa (Tabela 5).

3.2.4 Ensaio para avaliar a clarificação do lodo do decantador por sedimentação

Nesta etapa foi utilizada a metodologia adaptada de SCALIZE (1997) e FREITAS *et al.* (2010), para avaliar as características do lodo do decantador de alta taxa, após ser submetido ao ensaio de clarificação por sedimentação. SCALIZE (1997) realizou testes de clarificação utilizando polímeros aniônicos e catiônicos. FREITAS *et al.* (2010), além de polímeros avaliou a recirculação da água de lavagem de filtros sem adição de polímeros. Nestes trabalhos, os autores utilizaram coluna de sedimentação (DI BERNARDO, 2005).

Neste estudo, optou-se por promover os ensaios de clarificação sem adição de polímeros, tendo como referências os resultados obtidos por FREITAS *et al.* (2010), em relação à redução de turbidez do lodo clarificado e remoção de *Cryptosporidium spp* e *Giardia spp*, objetivando projeções em escalas na planta da ETA RF, no sentido de otimização dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Como não houve aplicação de polímeros, os ensaios foram realizados em uma jarra de *Jar test* de acrílico com 11,5 x 11,5 x 21 cm de acordo com a Figura 7.

FIGURA 7: Representação do ensaio de clarificação por sedimentação.



**A - Tempo Inicial
com Agitação**

**B - 05 Minutos
de Sedimentação**

**C - 10 Minutos
de Sedimentação**

Definido o tempo de operação do decantador (subitem 3.2.2), durante as descargas de lodo do módulo de decantação, alíquotas de aproximadamente 500 mL foram coletadas no intervalo de 20 segundos (Figura 5) e transferidas para um balde de plástico, constituindo uma única amostra composta. Em seguida, transferiu-se 2 L para a jarra do *Jar test*, mantendo-se por agitação em 10 RPM, utilizando um agitador com auxílio de uma barra magnética de polipropileno, o tempo de agitação foi de 5 minutos. Decorrido este tempo, interrompeu-se à agitação e promoveu-se as coletas do sobrenadante a uma altura de 7 cm da base da jarra do *Jar test*, com intervalos de 5 minutos (Figura 8), e realizou-se análises de turbidez (método analítico SMWW 2130 B). Após definição do melhor tempo de sedimentação foi realizada a caracterização do lodo clarificado para os parâmetros apresentados na Tabela 5.

3.2.5 Ensaio de recirculação do lodo do decantador

Na literatura são reportados trabalhos com taxas de recirculação de 5, 10, 15 e 20% (FREITAS *et al.*, 2010; GOTTFRIED *et al.*, 2008) para estudos sobre a recirculação de água de lavagem de filtros. Na ausência de trabalhos sobre taxas de recirculação para lodo de decantador, definiu-se as taxas iniciais a serem estudadas de 2 a 4 %, procedimento realizado em *Jar test*.

Os ensaios foram realizados simulando uma vazão média operacional da ETA de aproximadamente 1.050 L s^{-1} , para que o teste possa se aproximar das características reais do sistema. O volume de floculação média, lenta e muito lenta, foi de 762, 1144, e 3381 m^3 respectivamente, e área total de decantação de alta taxa de 1473 m^2 . Com estes dados foi possível definir os tempos de agitação do equipamento em rpm, procedimento este adotado na realização de *jar test* na ETA, na operação do sistema para esta vazão.

Assim, para realização dos ensaios de recirculação, simulando condições hidráulicas aproximadas da ETA Renato de Freitas, em termo de coagulação, floculação e decantação, para uma vazão média de aproximadamente 1.050 L s^{-1} , adotou-se todos os ensaios os tempos e rotações descritos na Tabela 6.

TABELA 6: Valores adotados para as variáveis rotação e tempo no ensaio de *Jar test*

Coagulação/Floculação	
Rotação (rpm)	Tempo (minuto)
100	1,0
60	12,1
40	18,1
30	6,1
Decantação	9,2

As amostras da água bruta foram coletadas na calha Parhall da ETA, à jusante do ponto de aplicação do coagulante Policloreto de Alumínio, localizado a 6,90 metros do final da garganta na região que diverge da Calha. Neste local, tem-se uma mistura intensa do coagulante e alcalinizante.

A amostragem foi realizada utilizando uma bomba centrífuga de fluxo contínuo, que através de uma tubulação de 3/4" de PVC soldável direcionava a água com o coagulante para um ponto de coleta dentro do laboratório da ETA. Desta forma, era possível transferir e manter a dosagem aplicada na planta da ETA, expressa em mg L^{-1} , de coagulante, para os ensaios de *jar test*, fazendo com que o sistema se assemelhasse com as condições reais da ETA. Mantendo-se também o pH ideal de coagulação no momento dos ensaios. Este procedimento foi referenciado em DI BERNARDO *et al.* (2011), onde se reproduziu as condições da ETA em *jar test*, avaliando a eficiência da sedimentação da água coagulada.

A dosagem do coagulante Cloreto de Polialumínio (PAC), expressa em mg L^{-1} , foi obtida por meio da Equação 01, utilizada na planta operacional da ETA-FR, para dosagem do coagulante PAC.

$$D_{(PAC)} = \frac{VD \times C}{Q_{(ETA)} \times 60} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$D_{(PAC)}$: Dosagem do coagulante PAC aplicada na ETA em mg L^{-1} .

VD: Vazão da Bomba Dosadora de Coagulante em mL min^{-1} .

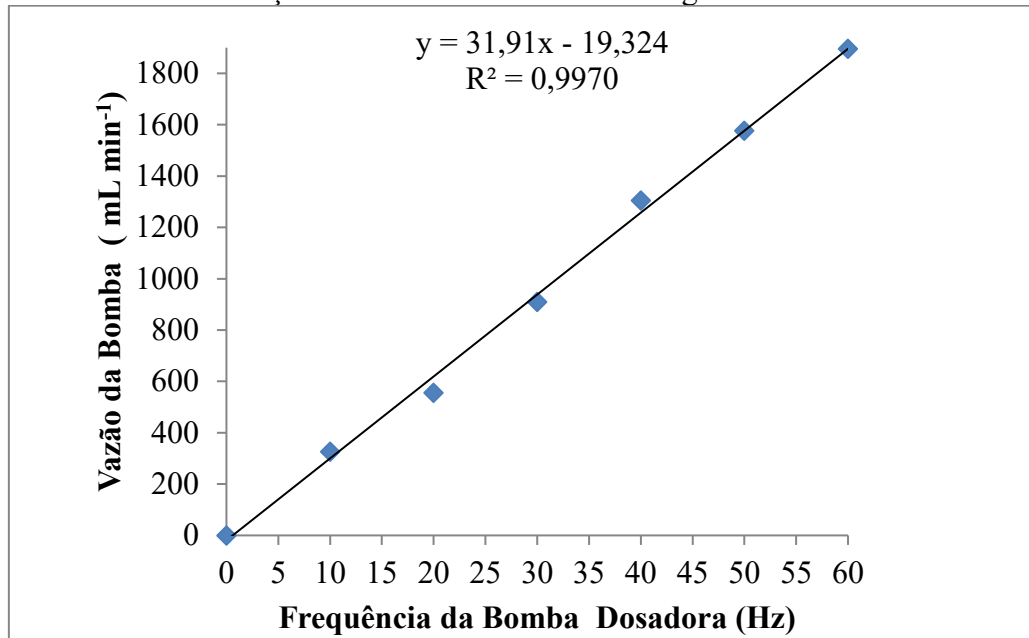
C: Concentração da Solução do coagulante em g L^{-1} .

$Q_{(ETA)}$: Vazão de água bruta que esta sendo tratada em L.s^{-1} .

60: Fator de conversão de tempo.

A vazão da bomba dosadora (VD), expressa em mL min⁻¹, foi obtida por meio de aferição e calibração (Figura 8), utilizando uma proveta de vidro de 500 mL e cronômetro manual, variando a frequência em hertz (HZ) a cada dez unidades. As amostras foram coletas na tubulação antes do coagulante ser aplicado na calha Parhall, em triplicatas, onde se obteve um valor médio.

FIGURA 8: Calibração da Bomba Dosadora de Coagulante.



$$VD = 31,917x\text{Freq.} - 19,324$$

Equação 2

Onde:

VD: Vazão da bomba dosadora de coagulante em mL min⁻¹.

Freq.: Frequência da bomba dosadora em Hz.

A vazão de água bruta da Q_(ETA), em L s⁻¹, foi obtida através de um macro medidor de vazão ultrassônico, localizado em uma tubulação de aço de 960 mm à jusante da calha Parhall da ETA-RF.

Pelo gráfico da Figura 8 foi possível obter a dosagem de coagulante (D_(PAC)), em mg L⁻¹, que estava sendo aplicada na ETA, e que foi utilizada nos ensaios de *Jar test*.

Anotou-se a frequência da bomba dosadora no momento dos ensaios e através da Equação 2, obteve-se a vazão da bomba dosadora (VD), em mL min⁻¹. Com este valor, a partir da Equação 1, obtinha-se o valor da dosagem do coagulante PAC, em mg L⁻¹.

3.2.5.1 Ensaio de recirculação a uma taxa de 2% - Lodo bruto e clarificado após 5, 10 e 15 minutos

O ensaio de recirculação simulando uma taxa de recirculação de 2%, foi realizado com amostras do lodo clarificado (item 3.8) após os tempos de 5, 10 e 15 minutos e lodo bruto do DATx. Os ensaios foram realizados em 5 jarras do *Jar test*, onde foram transferidos 1960,80 mL de água bruta (com coagulante) da ETA (conforme procedimento de amostragem do item 3.9) e completada a um volume final de 2000 mL com o lodo clarificado para cada tempo de sedimentação.

Em uma jarra era adicionada apenas água com o coagulante da ETA, denominado BRANCO. As principais características operacionais das amostras d'água nas unidades de tratamento da ETA, no momento de realização deste ensaio, se encontram no Anexo A (Tabela 1A). Decorridos os tempos do ensaio, conforme Tabela 6, analisou-se os parâmetros cor aparente e turbidez. As amostras decantadas foram coletas a uma altura de 7 cm da base da jarra do equipamento.

3.2.5.2 Ensaio de recirculação com taxas de 2,0; 2,5; 3,5; e 4,0% - Lodo clarificado após 5 minutos

Para realização do ensaio de *Jar test* simulando taxas de recirculação de 2,0; 2,5; 3,5 e 4,0% utilizou-se amostra do lodo clarificado por 5 minutos de sedimentação (Item 3.8). Os volumes aplicados em cada teste da água bruta com o coagulante da ETA e do lodo clarificado são apresentados a Tabela 7. O volume final nas jarras do *Jar test* foi de 2000 mL. Em uma jarra do equipamento era adicionado 2000 mL de água bruta da ETA com o coagulante, configurando o BRANCO dos ensaios. As características da ETA no momento de realização dos ensaios estão no Anexo A (Tabela 2A).

TABELA 7: Volumes de amostras de água com o coagulante e do lodo para realizar o ensaio de *Jar test* em diferentes taxas de recirculação.

Amostras	Taxas de Recirculação (%)					
	Branco	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Volume de Amostra (mL)					
Água bruta da ETA com o coagulante	2000	1960,80	1951,20	1941,80	1932,40	1923,20
Lodo Clarificado	-	39,20	48,80	58,20	67,60	76,80

Para avaliar a qualidade físico-química da água decantada gerada pelo ensaio de recirculação a uma taxa de 2% do lodo clarificado por sedimentação a 5 minutos, foi realizada nova batelada do ensaio de *Jar Test* (Item 3.9.1). As características na planta da ETA momento de realização do ensaio estão contempladas no Anexo A (Tabela 2A). Os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 5 e foram comparados com os valores quantificados da água decantada da ETA-RF. Nesta caracterização ainda foi quantificado o indicador de contaminação fecal, *E.coli* (NMP 100mL⁻¹), pelo método SMWW 9223 B, e cor (uC) pelo método SMWW 5210 B, ambos segundo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22th Edition 2012).

3.2.5.3 Ensaio de recirculação com taxa de 4,0% - Lodo bruto e clarificado após 5, 10 e 15 minutos

O ensaio de recirculação simulando uma taxa de 4% foi realizado com amostras do lodo clarificado (Item 3.8) após os tempos de sedimentação de 5, 10 e 15 minutos e do lodo bruto. Os ensaios foram realizados em 6 jarras do *Jar test*, onde foram transferidos 1923,20 mL de água bruta (com coagulante) da ETA (item 4.5) e completada a um volume final de 2000 mL, com o lodo clarificado, para cada tempo de sedimentação.

Em uma jarra era adicionado apenas água bruta (com coagulante) da ETA, denominado BRANCO. As principais características operacionais das amostras d'água nas unidades de tratamento da ETA-RF, no momento de realização deste ensaio, se encontram no Anexo A (Tabela 3A). Decorridos os tempos do ensaio (Tabela 6), analisou-se os parâmetros cor aparente e turbidez.

3.2.6 Ensaios de consumo de coagulante

Para avaliar se a presença dos sólidos no lodo do DATx promoverá a redução no consumo de coagulante, foram realizados ensaios de recirculação com o lodo bruto e clarificado por 5 minutos de sedimentação, para as taxas de 2 e 4%.

Os testes foram realizados variando a proporção de água bruta sem e com o coagulante e mantendo fixo o volume do lodo do DATx, mediante uma taxa de 2 e 4%. A variação na concentração do coagulante partiu da dosagem do PAC, em mg L⁻¹, que estava sendo aplicada na planta da ETA no dia do ensaio.

3.2.6.1. Ensaio de recirculação com taxa de 2% - Lodo Bruto

Na Tabela 8 são apresentados os volumes aplicados no ensaio com uma taxa de 2% de recirculação do lodo bruto (sem sedimentar). As características da planta da ETA-RF no momento de realização do ensaio estão descritas no Anexo A (Tabela 4A).

TABELA 8: Volumes de amostras para realização do ensaio de consumo de coagulante com taxa de recirculação de 2% com lodo bruto.

Identificação jarra	Volume de água bruta com coagulante (mL)	Volume de água bruta (mL)	Volume de lodo bruto (mL)	Concentração do coagulante na jarra (mg L ⁻¹)
01 (Referência)	2000	-	-	8,10
02	1960,80	-	39,20	7,93
03	1940,80	20,00	39,20	7,85
04	1920,80	40,00	39,20	7,77
05	1900,80	60,00	39,20	7,69
06	1880,00	80,80	39,20	7,61
07	1850,80	110,00	39,20	7,49
08	1820,80	140,00	39,20	7,37
09	1790,10	170,70	39,20	7,25
10	1760,50	200,30	39,20	7,13

3.2.6.2 Ensaio de recirculação com taxa de 2% - Lodo clarificado por 5 minutos de sedimentação

Na Tabela 9, são apresentados os volumes aplicados no ensaio com uma taxa de 2% de recirculação do lodo clarificado (5 minutos de sedimentação). As características da

planta da ETA-RF no momento de realização do ensaio estão descritas no Anexo A (Tabela 5A).

TABELA 9: Volumes de amostras para realização do ensaio de consumo de coagulante - Taxa de recirculação em 2 % do lodo clarificado por 5 minutos.

Identificação jarra	Volume de água com coagulante (mL)	Volume de água bruta (mL)	Volume de lodo clarificado (mL)	Concentração do coagulante na jarra (mg L ⁻¹)
01 (Referência)	2000,00	-	-	6,10
02	1960,80	-	39,20	5,98
03	1940,80	20,00	39,20	5,92
04	1920,80	40,00	39,20	5,86
05	1900,80	60,00	39,20	5,80
06	1880,00	80,80	39,20	5,72
07	1850,80	110,00	39,20	5,64
08	1820,80	140,00	39,20	5,55
09	1790,10	170,70	39,20	5,46
10	1760,50	200,30	39,20	5,39

3.2.6.3 Ensaio de recirculação com taxa de 4%

Na Tabela 10, são apresentados os volumes aplicados no ensaio com uma taxa de 4% de recirculação do lodo bruto (sem sedimentar) do DATx e com 05 minutos de clarificação por sedimentação. As características da planta da ETA-RF no momento de realização do ensaio estão descritas no Anexo A (Tabela 6A).

TABELA 10: Volumes de amostras para realização do ensaio de consumo de coagulante com taxa de recirculação do lodo em 4 %.

Identificação jarra	Volume de água bruta com o coagulante (mL)	Volume de água bruta (mL)	Volume de lodo (mL)	Concentração do coagulante na jarra (mg L ⁻¹)
01 (Referência)	2000,00	-	-	9,30
02	1920,00	-	76,80	8,93
03	1900,00	20,00	76,80	8,84
04	1880,00	40,00	76,80	8,73
05	1860,00	60,00	76,80	8,65
06	1840,00	80,00	76,80	8,55

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do manancial de abastecimento

A evolução temporal dos parâmetros turbidez e cor verdadeira no manancial de captação, Rio Uberabinha, é apresentada nas Figuras 9 e 10, respectivamente, de acordo com limites máximos estabelecidos pelo Resolução do CONAMA 357/2005, para águas de classe 2.

FIGURA 9: Turbidez – Manancial Rio Uberabinha, no ponto de captação da ETA-RF.

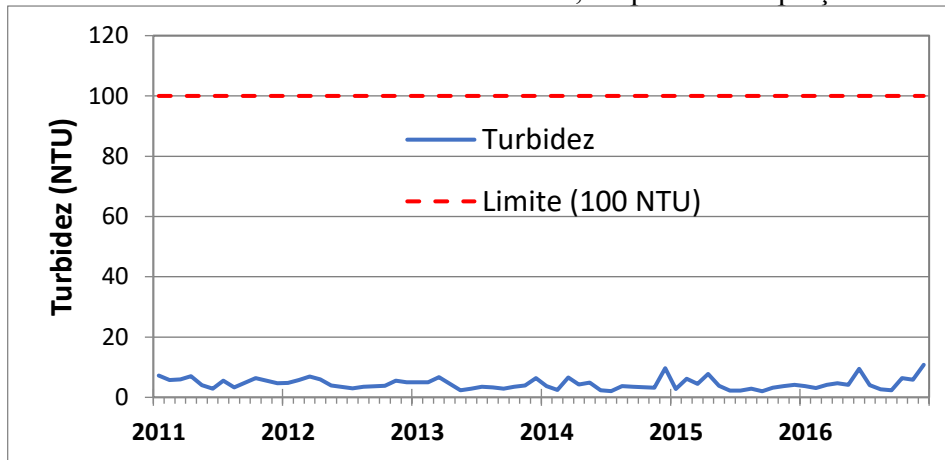
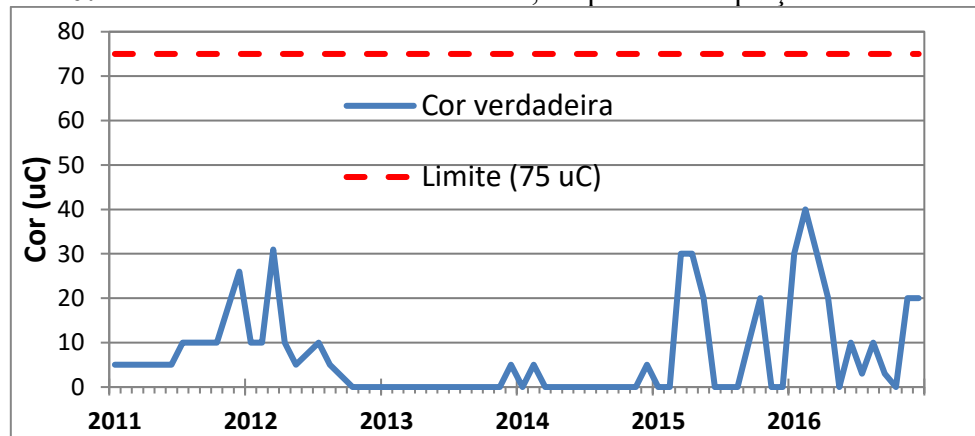


FIGURA 10: Cor – Manancial Rio Uberabinha, no ponto de captação da ETA-RF.



Analisando os dados do período de janeiro de 2011 a dezembro de 2016 (Figuras 9 e 10), os valores de turbidez e cor verdadeira apresentaram-se bem abaixo dos limites máximos estabelecidos pela legislação do CONAMA 357/2005, para águas de classe 2. Como são parâmetros que estão associados com o teor de sólidos dissolvidos (cor verdadeira) e em suspensão (turbidez) na água bruta, nota-se que a taxa de geração de lodos será menor quando comparado com outros sistemas, onde se têm estes parâmetros com resultados mais elevados. Em relação a turbidez, de acordo com a Equação 3 (AWWA, 1987; ASCE, 1996) a produção de lodo seco esta diretamente proporcional.

$$P_L = Q.(4,89).D_{AL} + K.T + OA).10^{-3} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

P_L : Produção de lodo seco, em Kg dia⁻¹.

Q : Vazão de água bruta, em m³ dia⁻¹.

D_{AL} : Dosagem de coagulante expressa, em mg AL⁺³ L⁻¹.

K : constante, podendo variar entre 1,0 e 2,0.

T : Turbidez, em NTU.

OA : Outros aditivos em, mg/L.

A turbidez média da água bruta neste período foi de 4,12 NTU. Aplicando-se a Equação 3, para um volume médio diário de água bruta de 90.720 m³ (para uma vazão média de 1.050 L s⁻¹), e uma dosagem do coagulante PAC, expressa em mg AL⁺³ L⁻¹ de 1,10, adotando um valor de 1,5 para a constante K , de acordo com FILHO (2017), estima-se uma produção de lodo seco, na ETA-RF de aproximadamente 1.048,63 Kg dia⁻¹. No trabalho de FILHO *et al.* (2009), para uma turbidez de água bruta de 3,0 a 6,0 NTU e vazões na ordem de 15 m³ s⁻¹, estimou-se uma produção de 18.000 a 28.000 Kg dia⁻¹.

Os parâmetros coliformes termotolerantes (Figura 11) e densidade de cianobactérias (Figura 12) foram avaliados no sentido de se ter uma referência sobre os aspectos microbiológicos associados ao grau de contaminação do manancial.

FIGURA 11: Coliformes termotolerantes, no ponto de captação da ETA-RF.

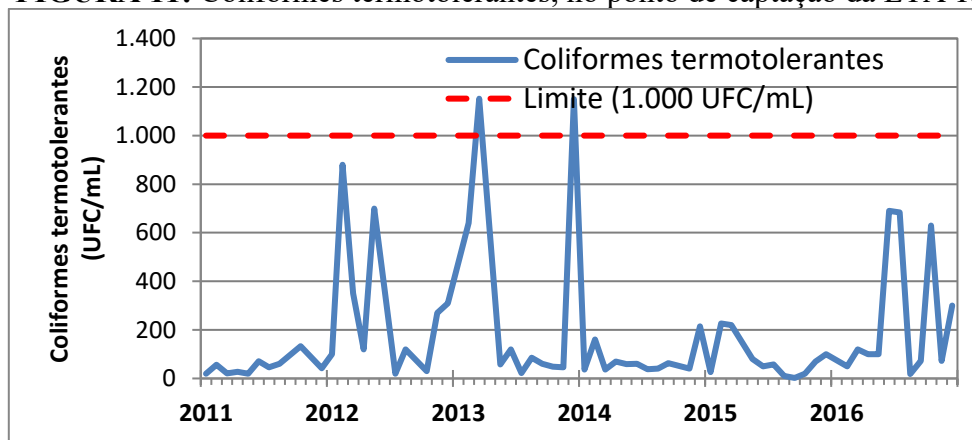
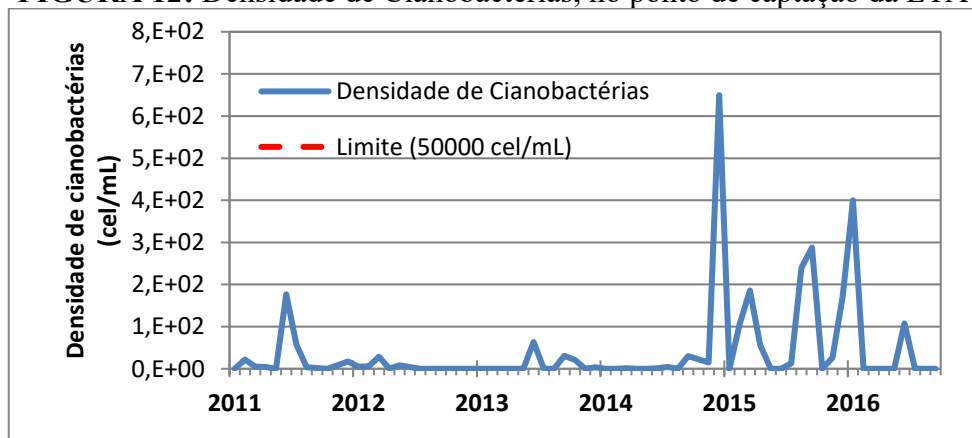


FIGURA 12: Densidade de Cianobactérias, no ponto de captação da ETA-RF.



No período de estudo, nota-se que o parâmetro coliforme termotolerantes (Figura 11) esteve abaixo do limite máximo permitido pela legislação do CONAMA 357/2005, para águas de classe 2 em 97% das análises realizadas em todo o período de 2011 a 2016, com exceção de alguns ensaios no ano de 2013, quando houve resultados acima do permitido, correspondendo 3% do total de análises realizadas. No ano de 2013, o Rio Uberabinha esteve com vazões reduzidas em virtude do período de estiagem prolongada, que se estendeu em algumas regiões do país, o que poderia ter contribuído para redução da taxa de autodepuração do corpo d'água ocasionando valores mais elevados deste indicador.

A concentração de cianobactérias (Figura 12) apresentou valores mais baixos no período de 2011 até 2014 e uma tendência de elevação nos anos de 2015 e 2016. Porém, esses valores ficaram abaixo do limite máximo estabelecido de 50.000 cel mL⁻¹ de acordo

com o CONAMA 357/2005, para águas de classe 2. Pode-se associar esta qualidade a baixas concentrações de nutrientes dissolvidos e, portanto, na ausência de um processo de eutrofização das águas. Este nível de qualidade do manancial, também é percebido pelas eficiências satisfatórias de oxigênio dissolvido (Figura 13), no intervalo de 2011 a 2016. Associado, também, aos resultados da DBO (Figura 14), estando estes abaixo dos limites de referências, relacionando assim, com a baixa concentração de matéria orgânica no manancial.

FIGURA 13: Oxigênio dissolvido - No ponto de captação da ETA-RF.

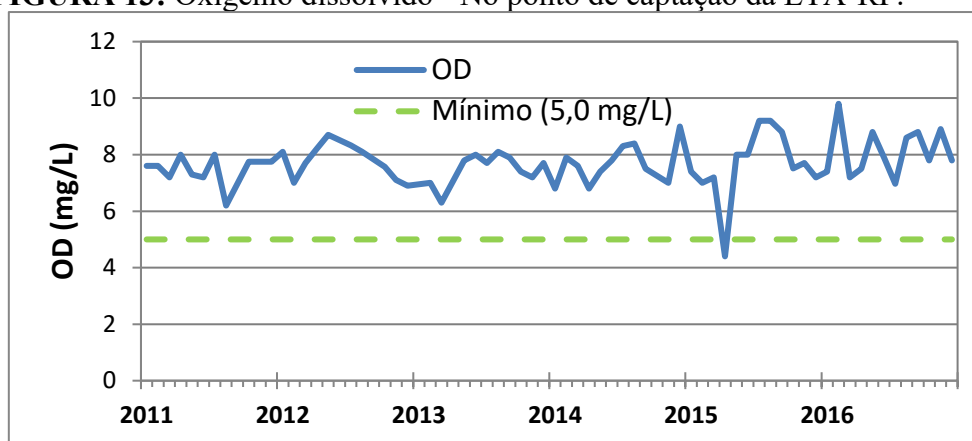
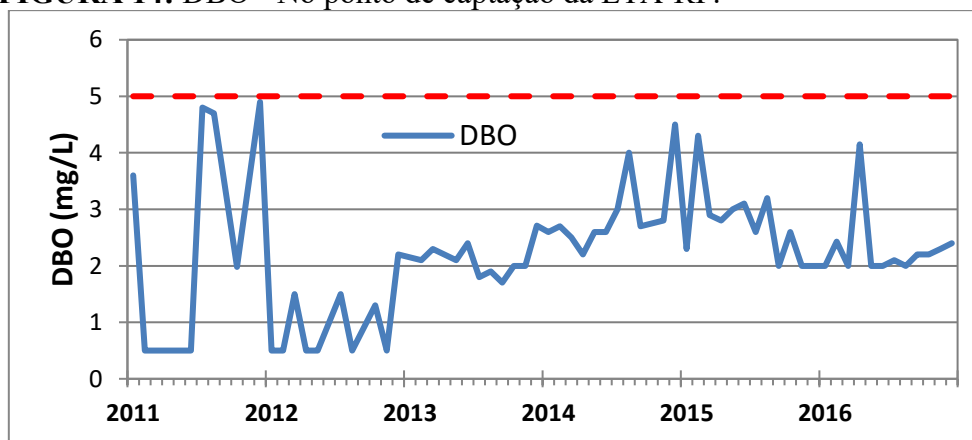


FIGURA 14: DBO - No ponto de captação da ETA-RF.



Em relação aos parâmetros arsênio total, cádmio total, chumbo total, cromo total, fósforo total, mercúrio total, atrazina, carbaril, endrin e glifosato, todos os resultados encontrados, no intervalo de 2011 a 2016, estiveram abaixo do limite de quantificação (LQ)

dos métodos e também abaixo dos limites máximos permitido pela legislação do CONAMA 357/2005, para águas de classe 2 (Tabela 11).

TABELA 11: Ponto de captação de água bruta na ETA RF – Rio Uberabinha.

Parâmetro	Resultados	Unidade	LMP¹ – CONAMA 357 Águas de Classe 2	Limite de Quantificação (LQ)
Arsênio total	< LQ	mg L ⁻¹	0,01	0,005
Cádmio total	< LQ	mg L ⁻¹	0,001	0,001
Chumbo total	< LQ	mg L ⁻¹	0,01	0,006
Cromo total	< LQ	mg L ⁻¹	0,05	0,01
Fósforo total	< LQ	mg L ⁻¹	0,1	0,05
Mercurio total	< LQ	mg L ⁻¹	0,0002	0,0002
Atrazina	< LQ	µg L ⁻¹	2,0	2,0
Carbaril	< LQ	µg L ⁻¹	0,02	0,01
Endrin	< LQ	µg L ⁻¹	0,004	0,004
Glifosato	< LQ	µg L ⁻¹	65	0,10

Nota (1) – LMP: Limite Máximo Permitido.

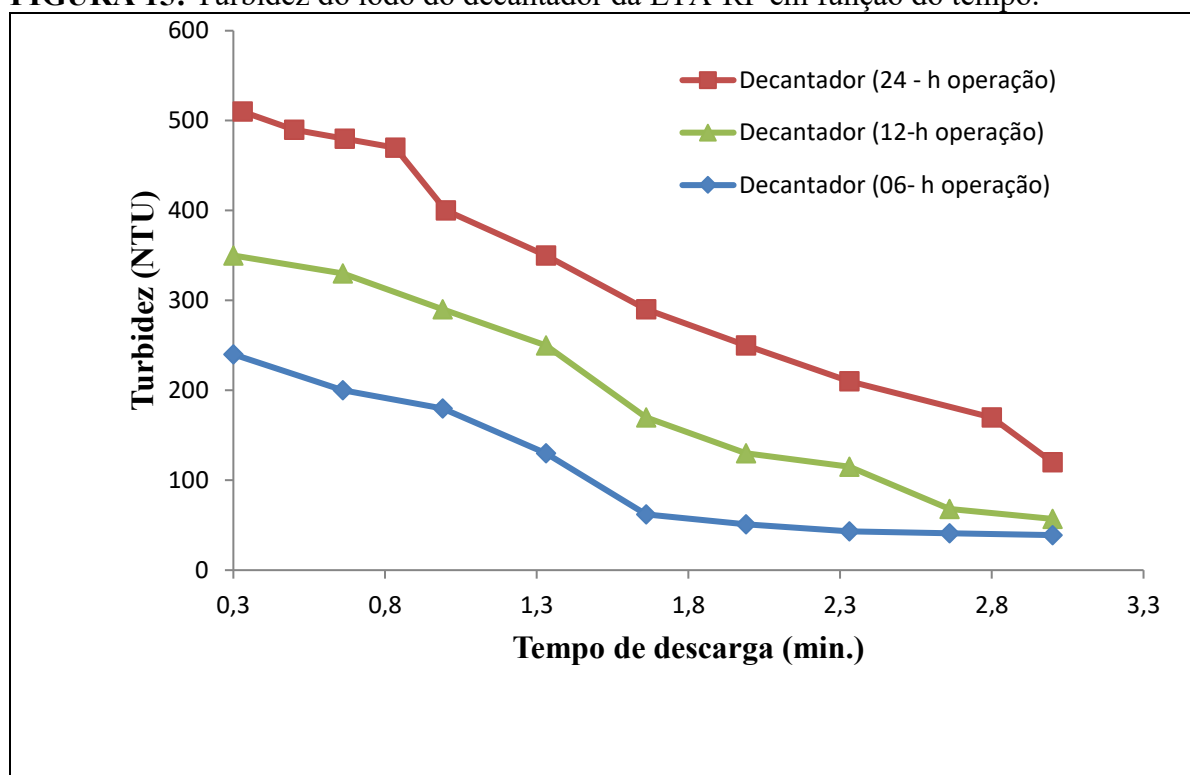
Estes parâmetros foram definidos em virtude de serem indicadores de atividades antropogênicas que podem estar comprometendo a qualidade do manancial, como o lançamento de esgoto sanitário sem o devido tratamento, atividades agrícolas na bacia hidrográfica e possíveis lançamentos de efluentes industriais. Mensalmente são monitorados todos os parâmetros indicados na Resolução CONAMA 357/2005, para águas de classe 2, dentro de um programa de monitoramento da qualidade do manancial.

Diante das características relacionadas com a qualidade da água do manancial em estudo, pode-se prever que a qualidade do lodo, no decantador de alta taxa, tenderá a ter características que permitirá estudos mais apurados quanto à viabilidade de aproveitamento na recirculação para o início do tratamento da ETA.

4.2 Ensaios de turbidez – Lodo do decantador de alta taxa

As condições referenciais de funcionamento do decantador de alta taxa da ETA são fornecidas pelo seu manual de operações. Para o tempo de abertura de cada válvula de descarga do lodo, o mesmo recomenda que não deve ultrapassar 2,5 minutos. Contudo, o tempo de intervalo entre uma descarga e outra, de um mesmo módulo, pode variar de 6 a 24 horas. Neste estudo, foi avaliado o intervalo de descarga nos tempos de 6, 12 e 24 horas (T_1), com um tempo de abertura da válvula de até 3 minutos (T_2), apesar de que o manual recomendasse 2,5 minutos, optou-se por 3 minutos, para avaliar o comportamento do sistema. Os resultados destes ensaios são apresentados na Figura 15.

FIGURA 15: Turbidez do lodo do decantador da ETA-RF em função do tempo.



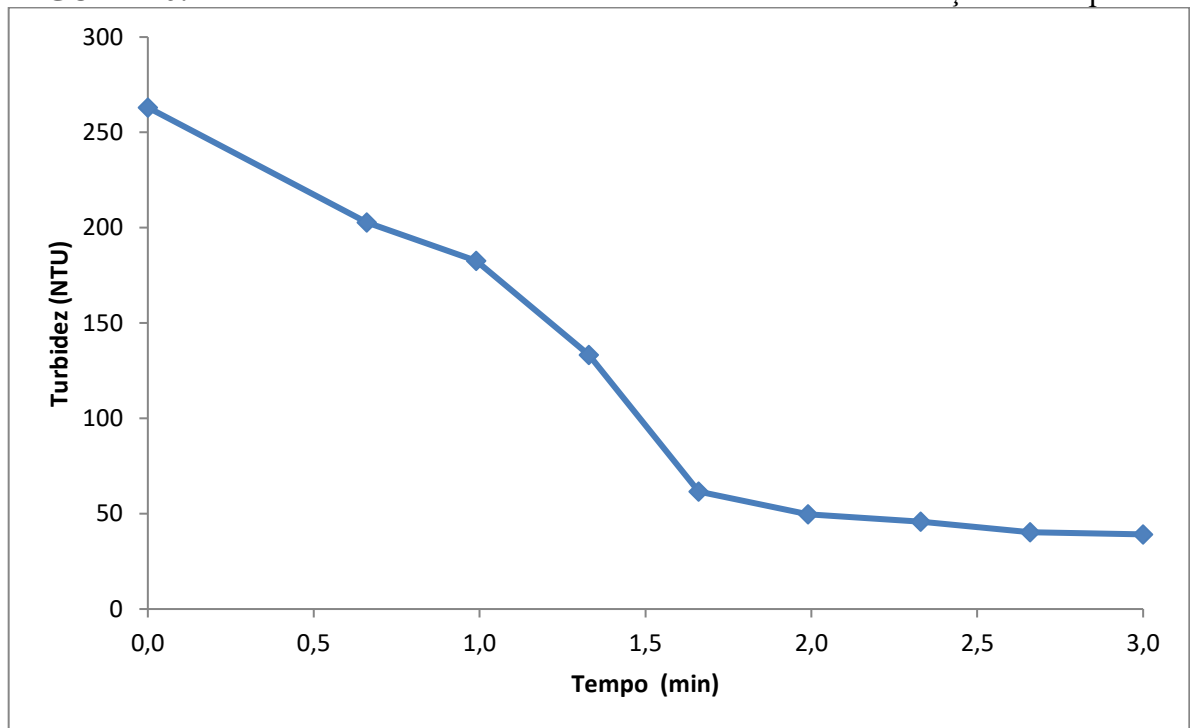
De acordo com a Figura 15, para as condições de produção mais elevada de lodo nos módulos de decantação, o que corresponde ao período de chuvas, tem-se que a situação mais eficiente em termos de remoção de lodo, seria o decantador operando com 6 horas, com valor final de turbidez de 62 NTU. Nos tempos de operação de 12 e 24 horas, o acúmulo de lodo nos canais de sedimentação são maiores, necessitando de tempos de descargas mais elevados. O manual técnico operacional do decantador recomenda que para

turbidez de água bruta superior a 5 NTU, seria necessário reduzir os intervalos de descarga, que poderia ser de até de 6 horas em função da intensidade da taxa de produção de lodos, pois poderia causar obstrução dos canais internos dos dutos de descarga, o que comprometeria as etapas seguintes do sistema de tratamento da ETA. De acordo com manual operacional, o tempo de abertura de cada uma das válvulas de descarga de lodos não deve ser superior a 2,5 minutos de abertura total, sob o risco de descarregar água floculada e não o lodo decantado.

Para uma melhor eficiência de remoção de lodo, no tempo de intervalo de descarga de 6 horas, com um tempo de descarga de aproximadamente 1,7 minutos, já se observou estabilização da turbidez do lodo gerado (Figura 15). No entanto, nas demais situações a estabilização ainda não havia ocorrido. Como a ETA possui 6 módulos de decantação, o volume diário de lodo produzido, nesta situação, seria de aproximadamente 2.400,00 m³, no período de maior geração, nos meses de dezembro a março. Este volume corresponde à aproximadamente 2,6 % do volume de água tratada na ETA, considerando que em relação a ALF tem-se um consumo de aproximadamente 2,4% do volume de água tratada. Assim o volume de lodo gerado mais a ALF teria um índice de 5%, estando abaixo do que é recomendado por (USEPA, 2002 e Raj *et al.*, 2008) que é de 10% para o volume total de efluentes em ETAs em relação ao volume total de água tratada. Com a redução da turbidez da água bruta, para valores inferiores a 5 NTU, a tendência é que será possível aumentar o tempo entre as descargas, de forma a não comprometer o sistema.

Definido o melhor tempo de descarga (T_2) do DATx, uma nova batelada de ensaios foi realizada com T_2 de 6 horas e, em triplicata. A evolução do teor de turbidez dos novos ensaios confirmou que entre 1,5 a 1,7 minutos de abertura da válvula de descarga do lodo do DATx, a turbidez tende a se estabilizar (Figura 16).

FIGURA 16: Turbidez média do lodo do decantador da ETA-RF em função do tempo.



4.3 Ensaio de turbidez – Água de lavagem dos filtros

Na literatura são reportados valores para a turbidez da água de lavagem de filtros variando de 24 a 400 NTU. DI BERNADO *et al.* (2002) indicam que turbidez média da água de lavagem de filtros pode variar de 50 a 170 NTU. De acordo, com KWAMURA (2000) a turbidez da água de lavagem de filtros de ETA de ciclo completo varia entre 150 e 250 NTU. Tobiason *et al.* (2003), observaram variações de turbidez média das amostras compostas de 150 a 400 NTU. Nos estudos de Le Goullec *et al.* (2004), em planta de ETA, a turbidez variou entre 24 e 126 NTU no decorrer da lavagem. Bastos *et al.* (2005), em trabalho realizado na ETA da Universidade Federal de Viçosa, encontram como valor médio a turbidez de água de lavagem de filtro, o valor de 103 NTU.

O sistema de lavagem da ETA-RF é composto por 02 bombas de recalque, canalizada com um reservatório de água tratada e com um sistema suplementar com ar soprado. A velocidade de lavagem estava em 65 cm min^{-1} , valor este, de acordo com o que é recomendado pela ABNT NBR 12.216 (1992), que exige no mínimo 60 cm min^{-1} .

Na Tabela 12 têm-se os valores de turbidez de um dos filtros da ETA-RF, com um tempo de carreira de 30 horas, durante o procedimento de lavagem. Foram realizadas coletas em momentos distintos. Nota-se que os valores estão coerentes com algumas das referências citadas anteriormente. De acordo, com FREITAS (2017), a turbidez ótima da ALF e o tempo de lavagem devem ser determinados em cada sistema.

Segundo a ABNT NBR 12.216 (1992) é exigido que a vazão de ar esteja entre 0,60 a 1,20 m³ min⁻¹ por metro quadro de área e pressão de trabalho suficiente para vencer a altura da água no interior do filtro, mais as perdas de carga nos condutos. Durante o procedimento de injeção de ar, que é de aproximadamente 2 minutos, à pressão suficiente para vencer a altura da água no interior do filtro. Assim, pode-se inferir que o sistema de ar soprado, esta de acordo com o que exigido pela ABNT NBR 12.216 (1992).

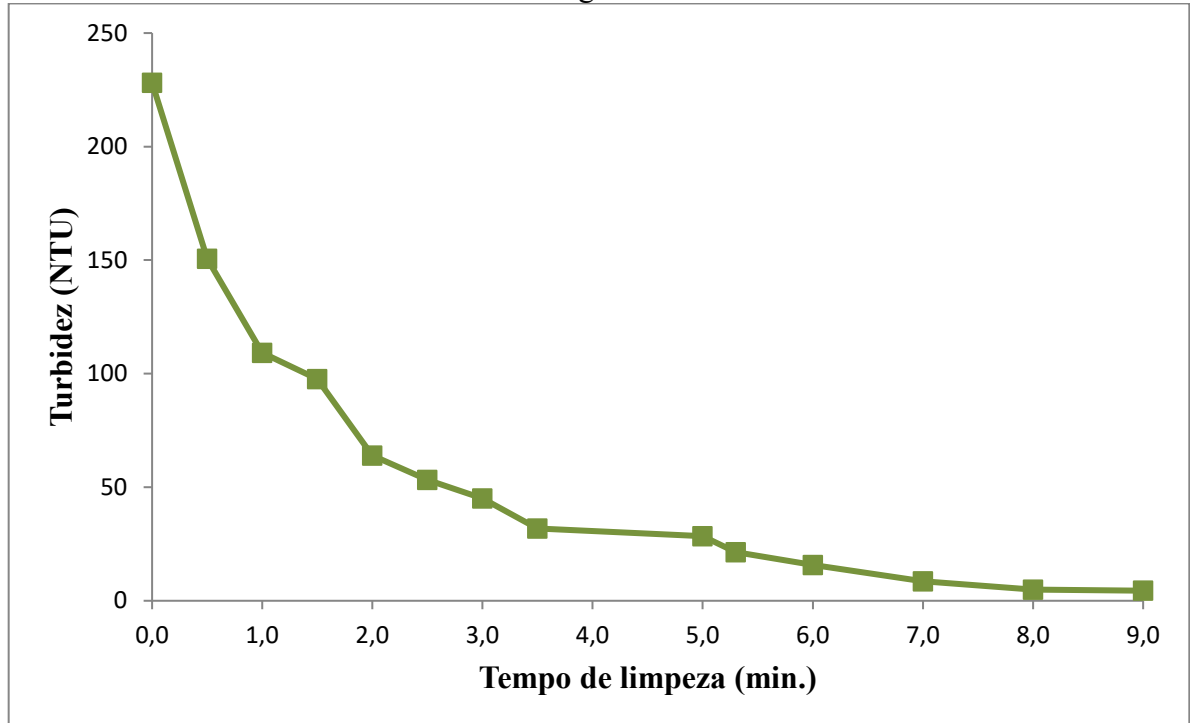
TABELA 12: Resultados de turbidez durante a lavagem de filtro da ETA-RF.

<i>Tempo (minuto)</i>	<i>Turbidez (NTU)</i>			
	1º Coleta	2º Coleta	3º Coleta	Média
Inicial	210,89	242,33	231,15	228,12
0,5	140,11	148,19	163,52	150,61
1,0	95,53	112,74	119,49	109,25
1,5	89,32	95,19	108,35	97,62
2,0	77,63	52,37	61,93	63,98
2,5	48,28	53,60	57,98	53,29
3,0	52,91	43,09	39,26	45,09
3,5	35,57	31,87	28,09	31,84
4,0	32,08	27,21	26,12	28,47
5,0	23,55	20,62	19,87	21,35
6,0	15,78	14,68	17,03	15,83
7,0	9,02	7,32	9,56	8,63
8,0	5,41	4,78	4,56	4,92
9,0	4,23	4,97	4,12	4,44
Média	60,02	61,35	63,64	61,67

Assim, para os filtros da ETA Renato de Freitas, com um tempo de carreira de 30 horas, com turbidez média de água bruta de aproximadamente 7,85 NTU, o tempo ideal de limpeza dos filtros seria de 7 a 9 minutos (Figura 17). Com um tempo de aproximadamente 7 minutos, o valor de turbidez da ALF direcionou-se para a estabilização com o valor médio em 8,63 NTU, corroborando com os resultados encontrados por

KAWAMURA (2000), que sugere valores de turbidez para água de lavagem de filtro entre 10 a 15 NTU, que a lavagem seja concluída.

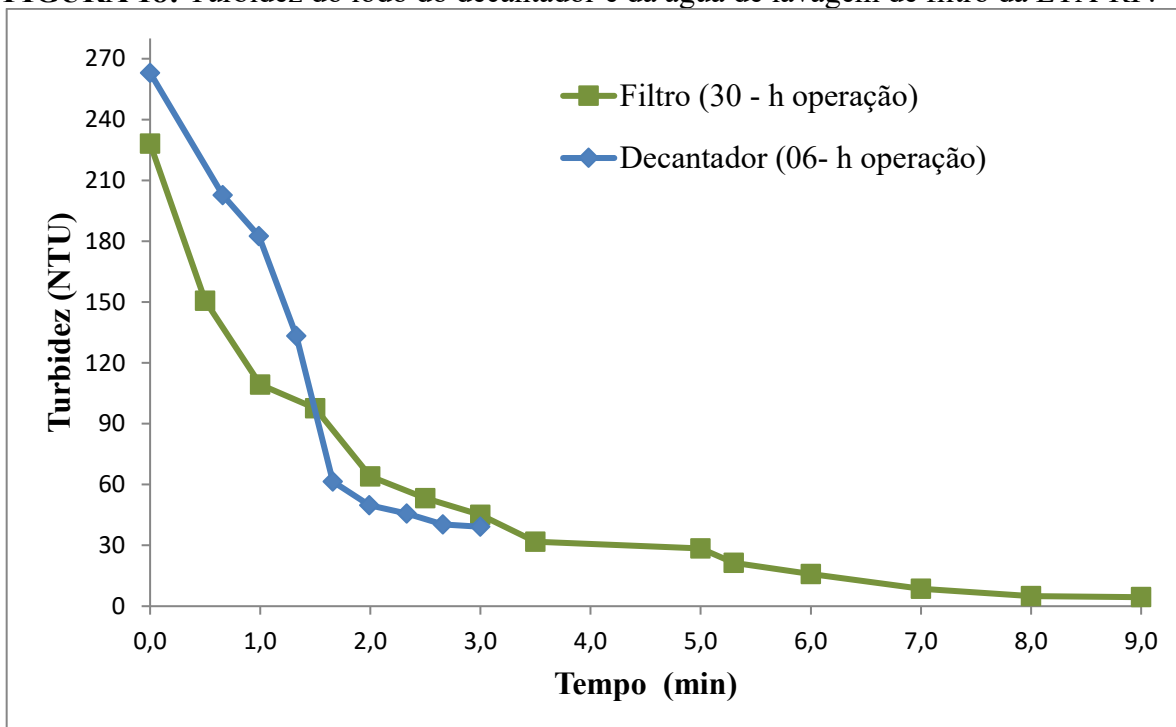
FIGURA 17: Turbidez média durante a lavagem de filtro da ETA-RF.



4.4 Comparação dos ensaios de turbidez do lodo DATx e AFL

De acordo com RICHTER (2009), é alta a concentração de sólidos no lodo dos decantadores convencionais, ao passo que nas unidades de remoção contínua de lodo, como o decantador de alta taxa, estes valores são menores podendo se aproximar dos valores típicos da água de lavagem dos filtros. Neste sentido, analisando o comportamento do decantador de alta taxa da ETA-RF, no momento das descargas hidráulicas (Figura 16), a melhor projeção ao ensaio de turbidez da água de lavagem dos filtros ocorreu no tempo de descarga de 6 horas (Figura 18). Com um tempo de descarga de aproximadamente 1,7 minutos no módulo de decantação do sistema de alta taxa de três canais sobrepostos atingiu-se um lodo com teor de turbidez semelhante a ALF com tempo de lavagem entre 2,0 a 3,0 minutos.

FIGURA 18: Turbidez do lodo do decantador e da água de lavagem de filtro da ETA-RF.



A partir da obtenção da configuração de operação dos decantadores de alta taxa que gerou um lodo com característica semelhante à ALF, quanto ao teor de turbidez, foi possível realizar os ensaios que simulam a recirculação do lodo do DATx para o início do processo.

4.5 Caracterização da água de lavagem dos filtros

Neste trabalho, realizou-se a caracterização da água de lavagem de filtro da ETA, devido ao fato de que, a hipótese desta dissertação foi levantada, tendo como referência a água de lavagem dos filtros de ETA. Assim, os resultados obtidos (Tabela 13), foram utilizados para serem confrontados, com as características do lodo gerado no decantador.

TABELA 13: Caracterização da água de lavagem de filtro da ETA-RF.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação (LQ)	Resultados
Alumínio Total	mg L ⁻¹	0,05	31,77
Coliformes Totais	NMP 100mL ⁻¹	1	600
DQO	mg L ⁻¹	20,00	22
Escherichia coli	NMP 100mL ⁻¹	1	200
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,10	1,77
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,03	0,10
Giardia spp.	cistos L ⁻¹	1	N.D
Cryptosporidium spp.	cistos L ⁻¹	1	N.D
pH	-	1 - 13	6,14
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	10,00	320,00
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	0,1	20,00
Turbidez	NTU	0,20	61,67⁽¹⁾

Nota: (N.D) - Não detectado.

As características da água de lavagem dos filtros de ETA variam de estação para estação, dependendo das impurezas contidas na água bruta, do tipo de coagulante e dos condicionantes químicos utilizados no tratamento da água (FREITAS, 2007). O parâmetro alumínio total de 31,77 mg L⁻¹ encontra-se dentro dos limites proposto por Di Bernardo *et al.* (2002) (Tabela 2) e acima do valor obtido por Arora *et al.* (2001), porém, abaixo dos valores encontrados por Tobiasson *et al.* (2003). Como o coagulante utilizado na ETA-RF, é um composto polimérico a base de alumínio, justifica-se a concentração de alumínio obtida na água de lavagem de filtros. De acordo com Gottfried *et al.* (2008), Suman *et al.* (2012) e Raj *et al.* (2008), o residual de coagulante na água de lavagem dos filtros, favorecerá o aumento dos sítios de colisão das partículas desestabilizadas do coagulante com os sítios negativos da água bruta, contribuindo para maior agregação de partículas

consequentemente, aumentando a eficiência nos processos de coagulação floculação e sedimentação, observação também relatada por Oliveira *et al.* (2013).

O resultado obtido para ferro total ($1,77 \text{ mg L}^{-1}$) esta abaixo dos valores encontrados por Souza Filho (1998) e Arora *et al.* (2001). O coagulante PAC, pode vir a ter em sua composição o elemento ferro, que sua vez irá desempenhar funções no processo de recirculação da ALF, tendo em vista ainda, o uso de coagulantes a base de ferro em sistemas de tratamento de água (FILHO, 2017).

Em relação ao parâmetro manganês total ($0,10 \text{ mg L}^{-1}$), o resultado obtido se aproximou dos encontrados nos trabalhos de Arora *et al.* (2001)($1,40 \text{ mg L}^{-1}$) e Tobiason *et al.* (2003)($1,23 \text{ mg L}^{-1}$), diferenciando um pouco mais do resultado obtido por Souza Filho, (1998)($2,20 \text{ mg L}^{-1}$) conforme Tabela 2. A ocorrência de manganês nos resíduos de ETAs esta relacionada com as características do manancial de abastecimento. Segundo Bourgeois, *et al.* (2004), a recirculação da ALF pode aumentar a concentração de manganês. No entanto, o índice de $0,10 \text{ mg L}^{-1}$, obtido neste estudo, está no limite do que é exigido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas de classe 2.

A turbidez média obtida de 61,67 NTU, esta de acordo com o trabalho de DI BERNADO *et al.* (2002), onde relata que a média da turbidez da água de lavagem de filtros pode variar de 50 a 170 NTU. Todavia, abaixo do teor obtido por Tobiason *et al.* (2003), onde observou variações de turbidez média das amostras compostas de 150 a 400 NTU em três ETAs nos Estados Unidos. Nos estudos, de Le Goullec *et al.* (2004), em planta de ETA, a turbidez variou entre 24 e 126 NTU, correspondendo, também, ao valor obtido deste projeto. Bastos *et al.* (2005).

A concentração de sólidos totais na água de lavagem dos filtros pode variar, significativamente, dependendo das características da água bruta, da dosagem e do coagulante utilizado na ETA, e do mecanismo de coagulação (SOUZA FILHO, 1998). Para Sacalze (1997) e Souza Filho (1998) a concentração de sólidos totais pode variar de 50 a 300 mg L^{-1} , em condições usuais de operação, podendo atingir até 500 mg L^{-1} . No trabalho de Tobiason *et al.* (1999), foram registrados picos variando de 600 a 7.000 mg L^{-1} . Bashaw *et al.* (2000), encontraram picos de 300 mg L^{-1} e média de 71 mg L^{-1} durante os primeiros três minutos de lavagem do filtro, enquanto Tobiason *et al.* (2003), encontraram valores de

pico de 700 mg L⁻¹. Neste estudo, foi obtido a concentração de 320 mg L⁻¹, para sólidos totais, valor este que se aproxima de algumas das referências citadas.

Para que não haja riscos adversos à saúde da população consumidora, quando se realiza o procedimento de recirculação da ALF, se torna importante monitorar cistos de oocistos de protozoários, principalmente *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp. Devido à forma de cistos e dimensões reduzidas, estes podem passar pelos filtros da ETA, sendo pouco suscetíveis à dosagem de cloro (Arora *et al.*, 2001 e USEPA, 2002), levando em consideração, que o processo de filtração é a principal etapa do tratamento responsável pela retenção destes microrganismos. Neste sentido, se torna importante o seu monitoramento (Raj *et al.*, 2008). Na caracterização da ALF da ETA-RF, em relação aos protozoários *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp, não foi detectado os protozoários (Tabela 13).

No trabalho realizado por Aguirre (2003), não foram detectados oocistos de protozoários na água de lavagem de filtros em uma ETA de Campinas-SP. Segundo o autor, a não ocorrência destes organismos, ocorreu provavelmente, pela eficiência de remoção nas unidades anteriores do tratamento, fazendo com que os cistos e oocistos não estariam atingindo os filtros da ETA, contribuindo para que a ALF estivesse livre destes organismos, o que poderia também justificar a não ocorrência destes organismos na água de lavagem de filtros deste estudo.

4.6 Clarificação do lodo do decantador de alta taxa

A Tabela 14 reúne os valores da turbidez dos ensaios de clarificação, por sedimentação, realizados com o lodo do decantador no tempo de operação hidráulica de 6 horas. Com um tempo de sedimentação de 5 minutos foi possível obter eficiência de remoção de turbidez do lodo clarificado em 48%, reduzindo gradativamente, até que em 30 minutos alcançou um índice de 99%, utilizando a jarra de *Jar test* de acrílico, conforme Figura 8. Freitas *et al.* (2010), realizaram ensaios de clarificação para água de lavagem de filtros, utilizando colunas de sedimentação e clarificação do sobrenadante utilizando polímeros aniônico, catiônico e não-iônico, obtendo respectivamente eficiências de remoção de turbidez de 93, 95, e 85% e remoção de 62% sem acondicionamento com polímeros. Cornwell *et al.* (2001), estudaram à aplicação de polímeros em uma ETA que possui uma unidade de tratamento de água de lavagem de filtro, com mistura rápida,

floculação e sedimentação, as médias de turbidez da água clarificada, com e sem adição de polímero foram de 1,2 e 2,4 NTU respectivamente, valores estes que se aproximam dos resultados encontrados neste estudo, para tempo de sedimentação a partir de 25 minutos (Tabela 14).

TABELA 14: Turbidez durante ensaio de clarificação do lodo do decantador da ETA-RF.

<i>Tempo (minuto)</i>	<i>Turbidez (NTU)</i>				Eficiência Média de Remoção (%)
	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	<i>Média</i>	
<i>Inicial</i>	205,30	220,30	214,60	213,40	
<i>5,0</i>	110,67	108,27	113,84	110,93	48
<i>10</i>	59,95	47,78	56,50	54,74	74
<i>15</i>	6,22	5,90	4,18	5,43	97
<i>20</i>	3,53	2,89	3,26	3,23	98
<i>25</i>	2,49	2,10	2,30	2,30	98
<i>30</i>	2,37	1,80	1,93	2,03	99

Neste sentido, para o lodo do decantador de alta taxa, utilizando apenas a clarificação por sedimentação, foi possível atingir resultados expressivos em termos de remoção de turbidez. Assim, objetivando projeções em escalas na planta da ETA-RF, no sentido de otimização dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais, haveria a necessidade de um tempo de repouso do lodo. Para tal fim, poderia ser utilizado um sistema em batelada, associado a equalização de vazões, visto que estes são dimensionados para receber elevadas vazões em curto período de tempo (USEPA, 2002), necessitando de áreas construtivas maiores para os tanques de sedimentação, característica esta que se encontra na ETA-RF.

Assim, uma alternativa interessante para a ETA-RF, a possibilidade da não aplicação de polímeros no tratamento do lodo clarificado do decantador de alta taxa. Visto que os custos de implantação de sistemas de tratamento de lodos em estações de tratamento de água podem variar de 30 a 40% do custo total do sistema de tratamento (ROTH, 2008).

4.7 Caracterização do lodo bruto e clarificado

A caracterização lodo do DATx foi realizada para as condições de 6 horas de operação e tempo de descarga de 1,7 minutos, enquanto o clarificado foi caracterizado após 5 minutos de sedimentação, os resultados estão apresentados na Tabela 15.

TABELA 15: Caracterização do lodo gerado no decantador da ETA-RF.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação (LQ)	Lodo	
			Bruto	Clarificado (5 min)
Alumínio Total	mg L ⁻¹	0,05	39,96	2,13
Coliformes Totais	NMP 100mL ⁻¹	1	1,28 x 10⁴	4,20 x 10³
DQO	mg L ⁻¹	20,00	130,63	<20,00
<i>Escherichia coli</i>	NMP 100mL ⁻¹	1	3.200	790
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,10	22,91	3,19
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,03	0,34	< 0,03
<i>Giardia spp.</i>	cistos L ⁻¹	1	N.D	N.D
<i>Cryptosporidium spp.</i>	cistos L ⁻¹	1	N.D	N.D
pH	-	1 - 13	8,12	7,15
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	10,00	1.000,00	52,00
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	0,1	400,00	20,00
Turbidez	NTU	0,20	205,30	110,60

Em relação à turbidez, obteve-se redução de 46%, em termos de DQO 84%, sólidos totais e sedimentáveis respectivamente em 94 e 95%. Coliformes totais redução de 67% e *Escherichia coli* de 75%. Assim, pela clarificação por sedimentação foi possível obter resultados satisfatórios para remoção de partículas e patógenos. Como foi relatado em (USEPA, 2000), a sedimentação como forma de tratamento tem sido utilizada em mais de

70% das ETAs que promovem a recirculação das águas de lavagem de filtros nos Estados Unidos, obtendo resultados satisfatórios para remoção de partículas e de patógenos.

Freitas *et al.* (2010), realizou testes de clarificação com e sem a aplicação de polímeros obtendo resultados satisfatórios, na clarificação sem utilização de polímeros, quanto à remoção de *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp. Em relação a estes protozoários, não foram identificados nas amostras do lodo bruto do decantador de alta taxa e nem do clarificado (Tabela 15). Tendo em vista os potenciais riscos que estes microrganismos possam vir a trazer no procedimento de recirculação do lodo para o início do tratamento da ETA (Arora *et al.*, 2001 e Raj *et.*, 2008), os resultados asseguraram a realização dos ensaios de recirculação.

A redução de alumínio total e de ferro total foi de 94 e 86%, respectivamente (Tabela 15). Estes elementos químicos fazem parte da composição do coagulante utilizado na ETA e irão compor a massa sólida do lodo, de acordo com Babatunde *et al.* (2007). Para Gottfried *et al.* (2008), Suman *et al.* (2012) e Raj *et al.* (2008), o residual de coagulante da ALF, contribui para maior agregação de partículas, aumentando eficiência nos processos de coagulação floculação e sedimentação. Neste projeto de dissertação, utilizou-se o lodo do decantador de alta taxa, porém com características semelhantes à água de lavagem de filtros.

Assim, é possível que haja êxito em testes de recirculação do lodo gerado no decantador de alta taxa, utilizando como técnica de tratamento a clarificação por sedimentação, sem aplicação de polímeros. Para esta condição, o manancial de captação de água bruta da ETA-RF deverá apresentar resultados satisfatórios quanto à qualidade de suas águas, como é o caso do manancial de abastecimento público da ETA Renato de Freitas, conforme foi abordado no item 4.1 desta dissertação.

Considerando que a maioria das ETAs no Brasil lançam ALF e lodo de decantadores nos corpos de água (ACHON *et al.*, 2008), e que de acordo com a Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, os resultados dos parâmetros pH e manganês da ALF e do lodo DATx (Tabelas 13 e 15) se encontram dentro dos limites máximos exigidos para lançamentos de efluentes nos corpos receptores (pH: 5 a 9 e manganês: 1,0 mg L⁻¹). O

parâmetro ferro, para ALF (1,77 mg L⁻¹) encontra dentro do limite máximo exigido de 15 mg L⁻¹. Porém, para o lodo bruto do DATx, esta acima do limite máximo (22,91 mg L⁻¹). No entanto, após 5 minutos de clarificação por sedimentação, o valor obtido foi de 3,19 mg L⁻¹(Tabela 15), abaixo do limite máximo exigido pela Resolução N° 430 do CONAMA. Isso demonstra a eficiência da clarificação por sedimentação.

4.8 Ensaio de recirculação do lodo do decantador

4.8.1 Recirculação com taxa de 2% - Lodo bruto do DATx e clarificado

Como proposto por Filho (2017), a recuperação da água de lavagem de filtros através de recirculação, pode ocorrer de duas formas: i) recirculação integral sem a separação de sólidos e ii) recirculação após clarificação do lodo. Assim, neste estudo simulou-se a recirculação integral, lodo bruto do DATx (Tabela 16) e recirculação após clarificação, nos tempos de sedimentação de 5, 10 e 15 minutos, para uma taxa de recirculação de 2%. Na Figura 19, são apresentados os percentuais de remoção de turbidez e na Figura 20 de cor aparente, referente aos resultados da Tabela 16.

TABELA 16: Resultados dos ensaios de recirculação com taxa de 2%. Água Bruta: Cor aparente (32,1uC); pH (6,18); Turbidez (6,70NTU).

<i>Parâmetros</i>	<i>Unidade</i>	<i>Planta da ETA</i>	<i>Branco</i>	<i>Tempo de Sedimentação (minuto)</i>			
				<i>Lodo Bruto</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>15</i>
Identificação da Jarra			N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Cor Aparente	uC	8,60	7,10	14,4	9,90	12,40	14,70
pH	-	7,50	7,31	7,26	7,39	7,38	7,29
Turbidez	NTU	0,94	1,00	2,80	1,80	2,50	2,60
Após a Mistura	Cor Aparente			50,30	41,12	36,18	37,12
	Turbidez			12,10	9,89	5,88	5,43
Dosagem de Coagulante (mg L⁻¹)		9,40		9,22			

FIGURA 19: Remoção de turbidez com taxa de recirculação de 2%.

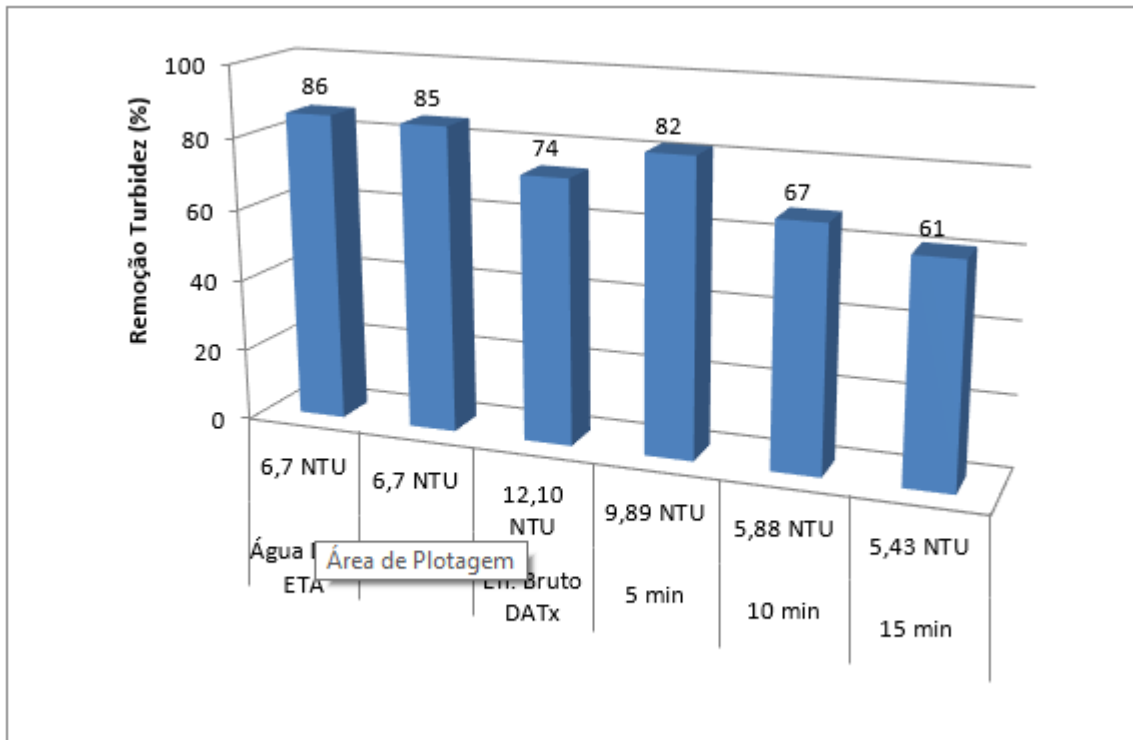
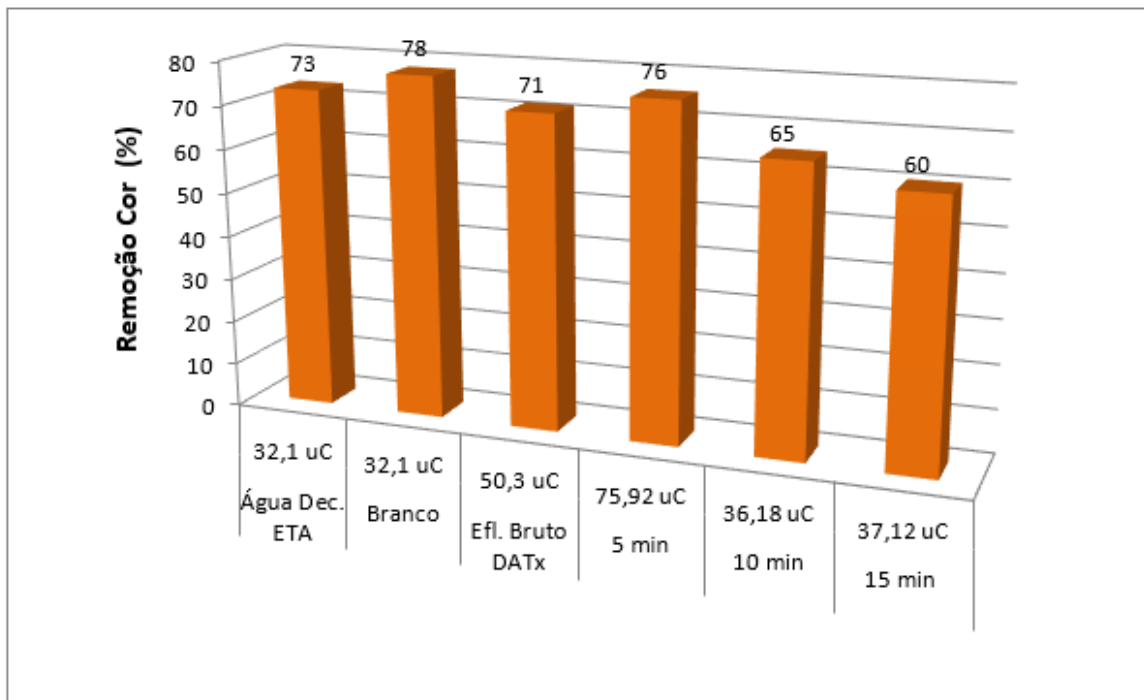


FIGURA 20: Remoção de cor com taxa de recirculação de 2%.



No ensaio de recirculação sem separação de sólidos, a adição de 2% do lodo bruto do DATx à água bruta da ETA gerou uma turbidez de 12,10 NTU. Neste valor de turbidez inicial, o ensaio de *Jar test*, nas mesmas condições operacionais da ETA, foi capaz de remover 74% da turbidez, valor inferior ao obtido na ETA (86%) apenas com água bruta (Figura 19). No trabalho de FREITAS *et al.* (2010), obteve-se remoção de 73%, com taxa de recirculação da ALF de 5%, após a ALF ser clarificado com polímero catiônico.

Para os ensaios de recirculação após clarificação do lodo do DATx, o aumento do tempo de sedimentação, ou seja, a redução dos sólidos em suspensão não favoreceu a remoção da turbidez com a recirculação (Figura 19). Uma relação inversa ao aumento do tempo de sedimentação é observada em função da remoção da turbidez. O melhor resultado foi alcançado para o clarificado a 5 minutos de sedimentação, partindo de uma turbidez inicial de 9,89 NTU, atingindo uma eficiência de 82%. Destaca-se, que para o ensaio de recirculação com turbidez inicial (5,43 NTU) próximo à água bruta (6,7 NTU) a remoção foi inferior (61%) à do sistema da ETA (86%). Como proposto por Gottfried *et al.* (2008), Suman *et al.* (2012) e Raj *et al.* (2008), o aumento dos sítios de colisão das partículas desestabilizadas do coagulante com os sítios negativos da água bruta contribui para maior agregação de partículas aumentando eficiência nos processos de coagulação floculação e sedimentação. No entanto, a clarificação por sedimentação, nos tempos superiores aos de 5 minutos, contribuiu para com a redução da concentração do coagulante residual proveniente do lodo do DATx, fazendo com que houvesse redução na eficiência de remoção de turbidez (Figura 19). De acordo com a Tabela 14, para os tempos de clarificação por sedimentação superiores a 5 minutos observa-se redução significativa no teor de sólidos presentes no lodo.

Resultados semelhantes ao parâmetro turbidez foi observado para a remoção da cor nos ensaios de recirculação. Visto que a turbidez pode estabelecer uma relação linear com a cor. Assim, de acordo com a Figura 20, o percentual mais expressivo de remoção de cor de 76% foi obtido, na amostra que continha o lodo do DATx, com tempo de clarificação em 5 minutos. Resultado este que se aproximou do valor de remoção do branco e da água decantada da ETA (Figura 20).

Em relação ao pH da água decantada, os resultados se assemelharam, estando levemente alcalino, o que pode ser justificado, levando em consideração, a basicidade do coagulante Cloreto de Polialumínio.

4.8.2 Recirculação com taxas a 2; 2,5; 3,0; 3,5; e 4,0% – Lodo clarificado por 5 minutos

A melhor remoção de turbidez nos ensaios de recirculação a 2% foi obtida para o lodo clarificado com tempo de sedimentação de 5 minutos, portanto, este foi selecionado para avaliar o desempenho do processo de floculação/decantação em diferentes taxas de recirculação (2; 2,5; 3; 3,5 e 4%) do lodo do DATx na água bruta da ETA-RF. Na Tabela 17 são apresentados os resultados dos ensaios de *Jar Test* e na Figura 22 os valores de remoção de turbidez.

TABELA 17: Ensaios de recirculação com tempo de clarificação de 5 minutos. Água Bruta: Cor aparente (32,1uC); pH (6,18); Turbidez (6,70NTU).

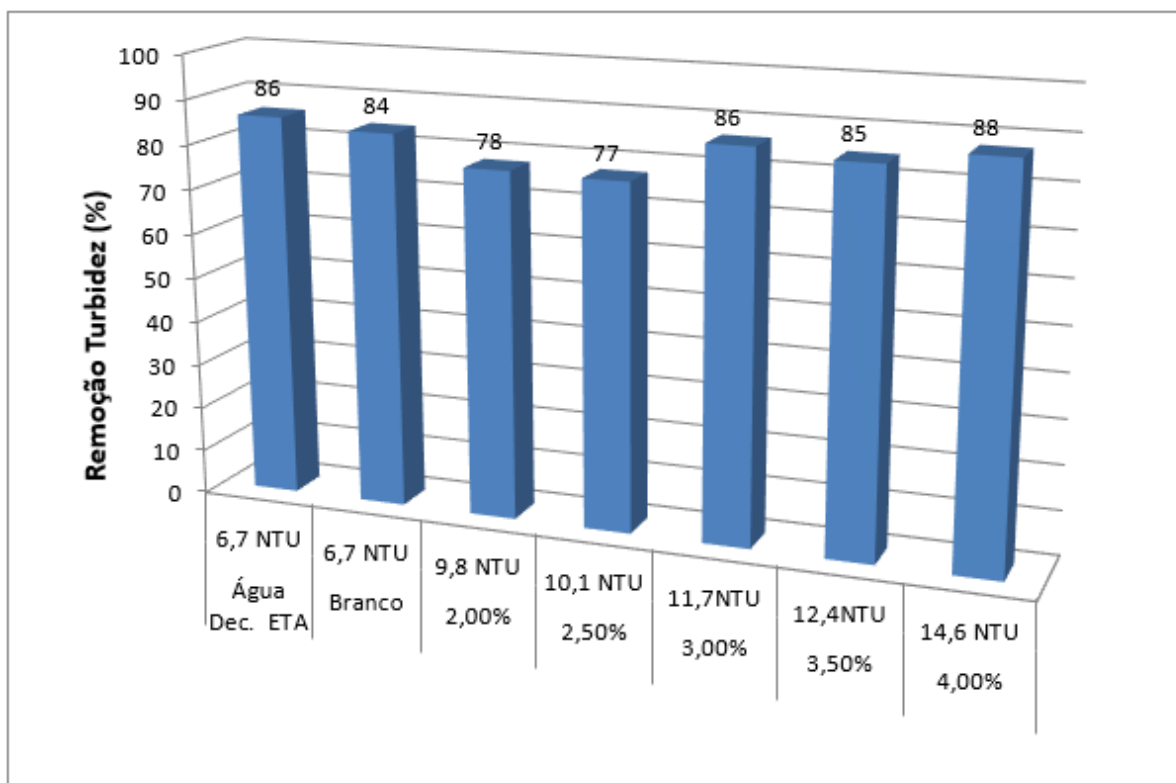
Parâmetros	Unid.	Planta ETA	Branco	Taxa de Recirculação (%)				
				2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Identificação da Jarra			Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6
Cor Aparente	uC	8,60	12,70	11,0	10,80	9,40	9,30	10,40
pH	-	7,50	7,58	7,53	7,31	7,79	7,62	7,61
Turbidez	NTU	0,94	1,05	2,2	2,3	1,6	1,9	1,8
Após a Mistura	Turbidez			9,89	10,14	11,77	12,45	14,60
Dosagem de Coagulante (mg L ⁻¹)		9,40		9,21	9,16	9,11	9,07	9,02

Pela Figura 21 tem-se que a eficiência de remoção de turbidez para as taxas 2 e 2,5% apresentaram resultados semelhantes (77 e 78%) valor este, aproximado ao encontrado no ensaio anterior para uma taxa de 2% (82%) (Figura 20). Nestas condições a turbidez inicial gerada pela recirculação foi de 9,89 NTU (2%) e 10,14 NTU (2,5%). A aplicação de 3% do lodo clarificado do DATx proporcionou uma turbidez inicial de 11,77 NTU, onde pelo processo de floculação/decantação, foi possível remover 86% da turbidez, valor igual ao da ETA-RF (Figura 21). Nota-se que a partir da aplicação de 3% a

remoção da turbidez tende a estabilizar, atingindo valores médios de 86%, com valores de turbidez inicial acima de 10 NTU. Este valor de eficiência de remoção da turbidez assemelha-se ao valor de referência da ETA-RF (Figura 21).

Observa-se que o acréscimo na turbidez inicial, causada pelo aumento da taxa de recirculação, favoreceu a eficiência do processo coagulação/decantação, o que corrobora com o proposto por Freitas *et al.* (2017). Esses autores observaram uma melhora na sedimentabilidade dos flocos, a partir do aumento da turbidez devido à recirculação de ALF, resultando em melhores eficiências de remoção de sólidos em suspensão na água bruta. Conforme, Gottfried *et al.* (2008) nas ETAs convencionais, nos períodos do ano de baixa turbidez da água bruta, a recirculação das águas de lavagem de filtros, pode propiciar elevação na concentração de partículas, favorecendo a formação dos flocos mais resistentes.

FIGURA 21: Remoção de turbidez com taxas de recirculação de 2,0; 2,5; 3,0; 3,50 e 4,0 % - Lodo clarificado 5 minutos.



4.8.3 Caracterização das amostras decantadas – Ensaio de *Jar test* com taxa de recirculação a 2%

A caracterização da amostra decantada resultante do ensaio de *Jar test* simulando recirculação a uma taxa de 2% do lodo clarificado após 5 minutos de sedimentação é apresentada na Tabela 18. Como referência, foi utilizado a caracterização da água decantada da planta da ETA-RF, no momento da realização dos ensaios. Nota-se que a concentração dos parâmetros analisados no teste de recirculação do lodo clarificado foi semelhante à qualidade da água decantada da ETA-RF, com exceção para os parâmetros microbiológicos coliformes totais e *Escherichia coli*, onde observou-se um aumento.

TABELA 18: Caracterização das amostras de água decantada da ETA-RF e do ensaio de *Jar test* com taxa de 2 % de recirculação.

Parâmetro	Unidade	Água decantada da ETA	Água decantada taxa de recirculação de 2 %	
			Lodo com 5 minutos de sedimentação	Lodo bruto
Alcalinidade	mg L ⁻¹	11,00	15,00	70,00
Alumínio Total	mg L ⁻¹	0,12	0,17	0,39
Coliformes Totais	NMP 100mL ⁻¹	33,00	39,00	22,0
<i>Escherichia coli</i>	NMP 100mL ⁻¹	1,0	7,0	73
Cor Aparente	uC	6,90	6,00	10,0
DQO	mg L ⁻¹	< 20,00	< 20,00	99,83
Ferro Total	mg L ⁻¹	< 0,10	< 0,10	0,19
Manganês Total	mg L ⁻¹	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Giardia spp.	Cistos L ⁻¹	N.D	N.D	N.D
Cryptosporidium spp.	Cistos L ⁻¹	N.D	N.D	N.D
pH	-	7,10	7,23	7,76
Sólidos Suspensos Totais	mg L ⁻¹	< 10,00	< 10,00	< 10,00
Sólidos Sedimentáveis	mg L ⁻¹	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Turbidez	NTU	0,98	1,00	1,30

Um dos riscos microbiológicos associados à recirculação dos resíduos de ETA (ALF e decantador) é a presença de protozoários. Sendo assim, em relação aos parâmetros cistos e oocistos de protozoários, *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp, não foi detectado na água decantada da planta da ETA, nem nos ensaios de recirculação com 2% do lodo bruto do DATx e clarificado a 5 minutos. Resultados já esperados, pois na amostra do lodo bruto do DATx (Tabela 18) não foi observado a presença destes protozoários. A não ocorrência destes microrganismos, possivelmente se associa com as características satisfatórias do manancial de água bruta e também, pela eficiência de remoção das unidades anteriores do tratamento da ETA-RF.

A recirculação do lodo do DATx apresenta vantagem em relação a reutilização das ALF pelo menor risco associado à presença de cistos e oocistos de protozoários, pois sendo a filtração a principal etapa do tratamento de remoção de protozoários, é esperado que a ALF contenha concentrações mais elevadas de cistos e oocistos do que a própria água bruta (FREITAS, 2007). Freitas, *et al.* (2010), em estudos de recirculação de água lavagem de filtros na taxa de 20%, sem clarificação, detectaram 2,5 oocistos L⁻¹ de *Cryptosporidium* na água filtrada de ETA piloto.

Para Bourgeois, *et al.* (2004), a recirculação da ALF de filtros pode aumentar as concentrações de ferro e manganês. No entanto, nos resultados encontrados (Tabela 18) houve aumento na concentração de ferro total, somente na amostra que continha o lodo bruto do DATx (0,19 mg L⁻¹). Todavia, a critério de comparação, este valor é inferior ao limite estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5 de 28/09/2017, Anexo XX do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, para água tratada que é de 0,30 mg L⁻¹. Em relação a coliformes totais e *Escherichia coli*, detectou-se nas três amostras (Tabela 18). Sendo águas decantadas, passariam ainda pelos processos de filtração e desinfecção. Etapas estas, como proposto por Richter, (2009) e Di Bernardo *et al.* (2005), responsáveis pela eliminação destes microrganismos no processo de tratamento de ciclo completo que ocorre nas ETAs, sobretudo à desinfecção quando se usa um agente oxidante a base de cloro, de acordo com Filho *et al.* (2008).

Na amostra decantada do teste de recirculação a uma taxa de 2% do lodo bruto, os parâmetros alcalinidade, alumínio total, cor aparente, pH e DQO apresentaram resultados

superiores aos caracterizados na água decantada da ETA e do teste com o clarificado. Neste caso, como o lodo não foi submetido a processos de clarificação, a tendência é que estes parâmetros se elevem, em função do residual maior do coagulante desestabilizado presente na massa bruta do lodo, conforme cita Gottfried *et al.* (2008), bem como toda a matéria orgânica já sedimentada nos septos de decantação, o que resulta em uma DQO mais elevada (Tabela 18).

Sendo o coagulante PAC, de características alcalinas o pH residual e alcalinidade tenderá a maiores valores, para doses maiores do lodo. Esta é uma característica importante, visto que no processo de tratamento de fluoretação ocorre a adição de ácido fluossilícico, enquanto na desinfecção, a adição de compostos a base de cloro. Nestas duas unidades ocorre a redução do pH da água. Neste sentido, um pH com valores mais elevados na água decantada e filtrada, permitirá uma redução no consumo de alcalinizante, no processo de correção na água já tratada, resultando em benefícios econômicos para a ETA.

Em relação a turbidez os ensaios de recirculação com lodo bruto e clarificado do DATx, 1,3 e 1,0 NTU, respectivamente, os resultados foram próximos à turbidez da água decantada da ETA-RF (0,98 NTU). Sendo este valor satisfatório para o desempenho das próximas unidades da ETA. Para aos resultados de cor aparente, nota-se comportamento semelhante aos obtidos para turbidez, destacando-se à amostra com 5 minutos de clarificação por sedimentação, em relação a recirculação do lodo bruto (Tabela 18).

4.8.4 Recirculação com taxa de 4% - Lodo bruto do DATx e clarificado

Os resultados apresentados na Tabela 19 e na Figura 23 foram obtidos a uma taxa de recirculação de 4%, variando os tempos de clarificação por sedimentação. Como proposto por Gottfried *et al.* (2008) e Arendze *et al.* (2014), a recirculação de ALF proporciona incremento na concentração de partículas o que favorece a formação dos flocos mais resistentes, optou-se neste estudo por aumentar a taxa de recirculação do lodo bruto e clarificado do DATx.

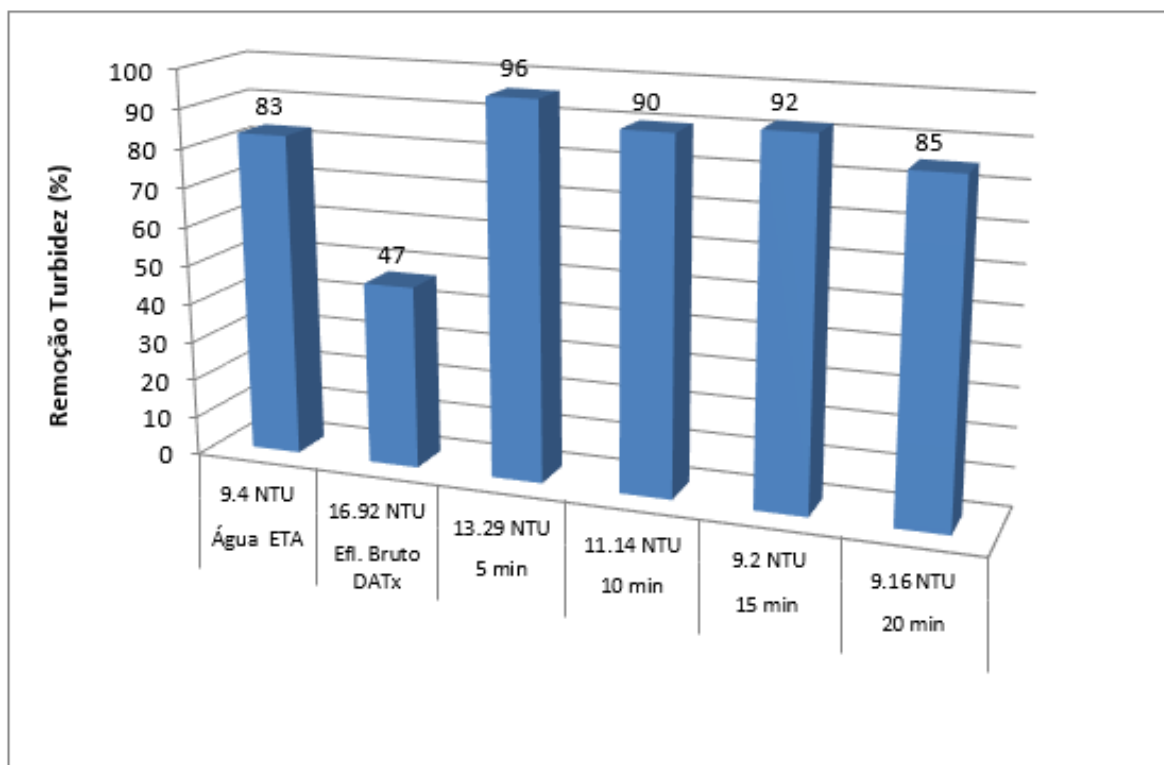
TABELA 19: Resultados dos ensaios de recirculação com taxa de 4% - Água bruta: turbidez 9,40 NTU e cor 38,5 uC.

<i>Parâmetros</i>	<i>Unidade</i>	<i>Planta da ETA</i>	<i>Branco</i>	<i>Tempo de Sedimentação (minuto)</i>				
				<i>Inicial</i>	<i>05</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>20</i>
Identificação da Jarra			Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6
Cor Aparente	uC	11,80	11,4	37,1	10,2	9,7	14,5	10,9
pH	-	7,16	7,27	7,48	7,66	7,31	7,39	7,40
Turbidez	NTU	1,62	2,2	9,00	0,60	1,10	0,80	1,40
Após Mistura	Turbidez			16,92	13,29	11,14	9,20	9,16
Dosagem de Coagulante (mg L⁻¹)		11,30		10,86				

A remoção de turbidez dos ensaios a uma taxa de recirculação de 4% foi superior à eficiência da ETA-RF para o lodo do DATx clarificado (5, 10, 15 e 20 min.), exceto para o lodo bruto, cuja remoção de turbidez foi apenas de 47% (Figura 22). A concentração do coagulante (PAC=10,86 mg L⁻¹) provavelmente foi insuficiente para o incremento na turbidez da mistura (AB + Efl-Bruto) de quase 50% (16,92 NTU). Para os lodos clarificados por 5, 10 e 15 minutos de sedimentação, a remoção da turbidez foi superior a 90%, enquanto para o lodo sedimentado por 20 minutos foi obtido 85% de remoção dos sólidos suspensos. Neste tempo de sedimentação, a concentração de sólidos não acarretou em incremento na turbidez da mistura (9,16 NTU), portanto, aproximando do valor da água bruta da ETA-RF (9,4 NTU), e condizente com os valores da remoção da turbidez (Figura 23).

No cenário real de operação da ETA-RF, a recirculação a 4% proporcionou, para os lodos clarificados, melhores remoções de turbidez quando comparado aos obtidos a uma taxa de recirculação de 2% (Figura 19). De acordo com, Xiao *et al.* (2009), para águas com baixa turbidez, o processo de remoção das partículas será menos eficiente em relação a águas com turbidez mais elevadas. Para Gottfried *et al.* (2008) e Arendze *et al.* (2014), a elevação na concentração de partículas, favorece a formação dos flocos mais resistentes, ocasionando melhores percentuais de remoção de turbidez nas amostras de água decantada, como o observado nos ensaios com lodo clarificado com taxa de recirculação de 4%.

FIGURA 22: Remoção de turbidez com taxa de recirculação de 4%.



Nota-se que mesmo com uma dosagem inferior de coagulante, os resultados dos testes de *Jar Test* nas jarras de N° 3, 4, 5 e 6 (Tabela 19)(Figura 22) apresentaram resultados mais satisfatórios em relação à dosagem de PAC superior (jarras N° 1 e 2), estando de acordo com as conclusões de SARON *et al.* (1997). Esses autores relataram que a recirculação da água de lavagem de filtros de ETA pode contribuir para redução do consumo de coagulante.

Como observado nos testes de recirculação de 2%, em relação ao pH da água decantada das amostras que continha lodo, os resultados se assemelharam (Tabela 19), estando levemente alcalino, o que pode ser justificado, também, pela basicidade do coagulante Cloreto de Polialumínio.

4.9 Ensaios de consumo de coagulante

4.9.1 – Taxa de recirculação de 2% - Lodo bruto do DATx

Na Tabela 20 e na Figura 23 são apresentados os resultados dos ensaios de recirculação do lodo bruto do DATx, sem clarificação, a uma taxa de 2% em que se variou a concentração do coagulante PAC a partir de diferentes proporções de água bruta sem e com o coagulante.

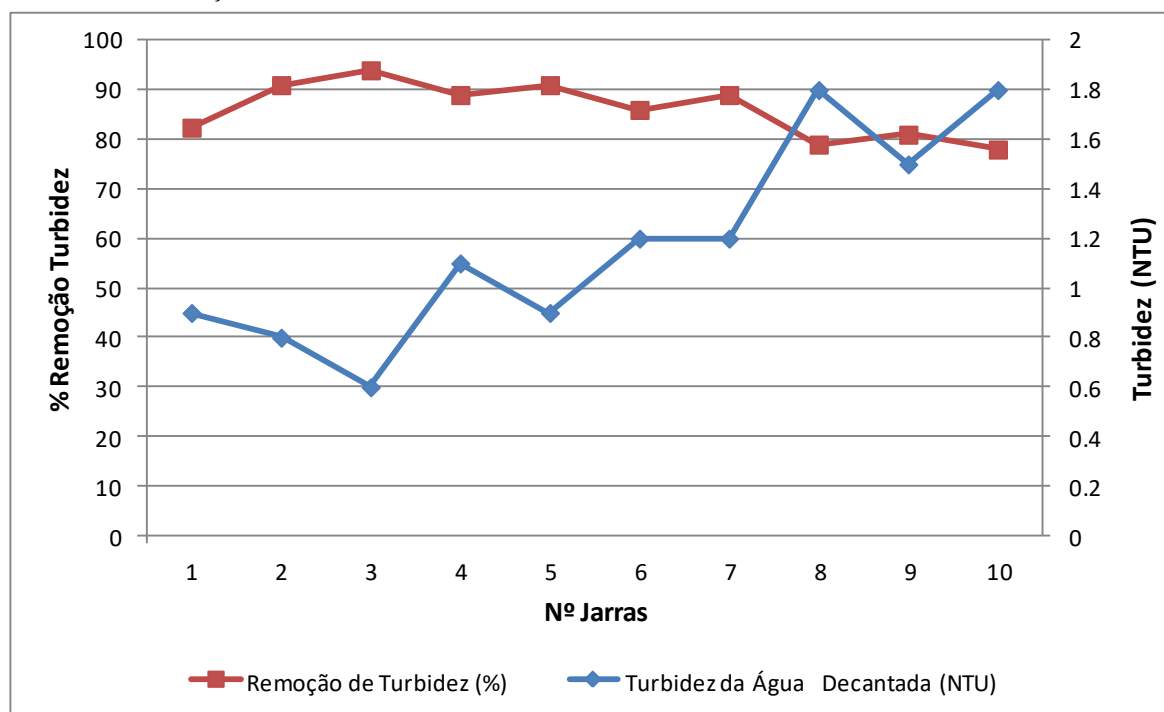
TABELA 20: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo bruto com taxa de recirculação de 2% - Água bruta: Cor aparente (33,40 uC); pH (6,04) e Turbidez (5,12 NTU).

Identificação Jarra	Concentração do coagulante (mg L ⁻¹)	Turbidez da mistura (NTU)	Turbidez da água decantada (NTU)
01 (Referência)	8,10	5,12	0,90
02	7,93	9,77	0,80
03	7,85	9,23	0,60
04	7,77	10,12	1,10
05	7,69	9,78	0,90
06	7,61	8,54	1,20
07	7,49	11,20	1,20
08	7,37	8,70	1,80
09	7,25	8,03	1,50
10	7,13	8,37	1,80

O incremento de sólidos suspensos na água bruta, evidenciado pelo aumento da turbidez de 5,12 NTU (água bruta) para 9,77 NTU (mistura), provavelmente influenciou na maior agregação das partículas do coagulante com as partículas da água bruta, como pode ser verificado pela queda na turbidez da água decantada de 0,90 NTU (valor referência) para 0,60 NTU (Tabela 20), quando aplicado 7,85 mg L⁻¹ de coagulante. Segundo Gottfried *et al.* (2008) e Oliveira *et al.* (2013), o aumento dos sítios de colisão das partículas desestabilizadas do coagulante presente na ALF, com os sítios negativos da água bruta pode resultar em maior agregação de partículas, contribuindo efetivamente no processo de coagulação, floculação e decantação. Como citado por Chen *et al.* (2016), a recirculação da ALF melhora significativamente a eficiência da coagulação.

A aplicação do coagulante nas concentrações entre 7,69 a 7,93 mgL⁻¹ resultou em eficiências de remoção de turbidez acima de 90% (Figura 23) condizente com a eficiência da planta da ETA-RF. A redução de coagulante nestas condições seria da ordem de 4%, mantendo a qualidade da água decantada. SARON *et al.* (1997), relatam que para a recirculação da água de lavagem de filtros, sem prévia sedimentação pode fornecer uma redução de até 10% na dosagem de sulfato de alumínio utilizado no tratamento. Assim, projetando aplicações no processo da ETA-RF, haveria à possibilidade de potencializar benefícios econômicos e ambientais para o sistema.

FIGURA 23: Remoção de turbidez em diferentes concentrações do coagulante PAC, com taxa de recirculação de 2% e lodo bruto do DATx.



4.9.2 – Taxa de recirculação de 2% - Lodo clarificado a 5 minutos de sedimentação

No ensaio de recirculação, com taxa de 2% com lodo clarificado a 5 minutos de sedimentação, a concentração do coagulante PAC, variou de 6,10 a 5,39 mg L⁻¹ (Tabela 21). A Jarra Nº 1, somente água bruta com o coagulante da ETA, simulando as condições ideais do processo de coagulação/floculação da ETA-RF apresentou eficiência de remoção de 68%, para uma turbidez inicial de 4,38 NTU (Tabela 21). Com o aumento da turbidez inicial ocasionada pela mistura da água bruta com o lodo clarificado do DATx atingiu-se

eficiências de remoção de turbidez superiores ao da ETA-RF, valores compreendidos 71 a 79% (Figura 24).

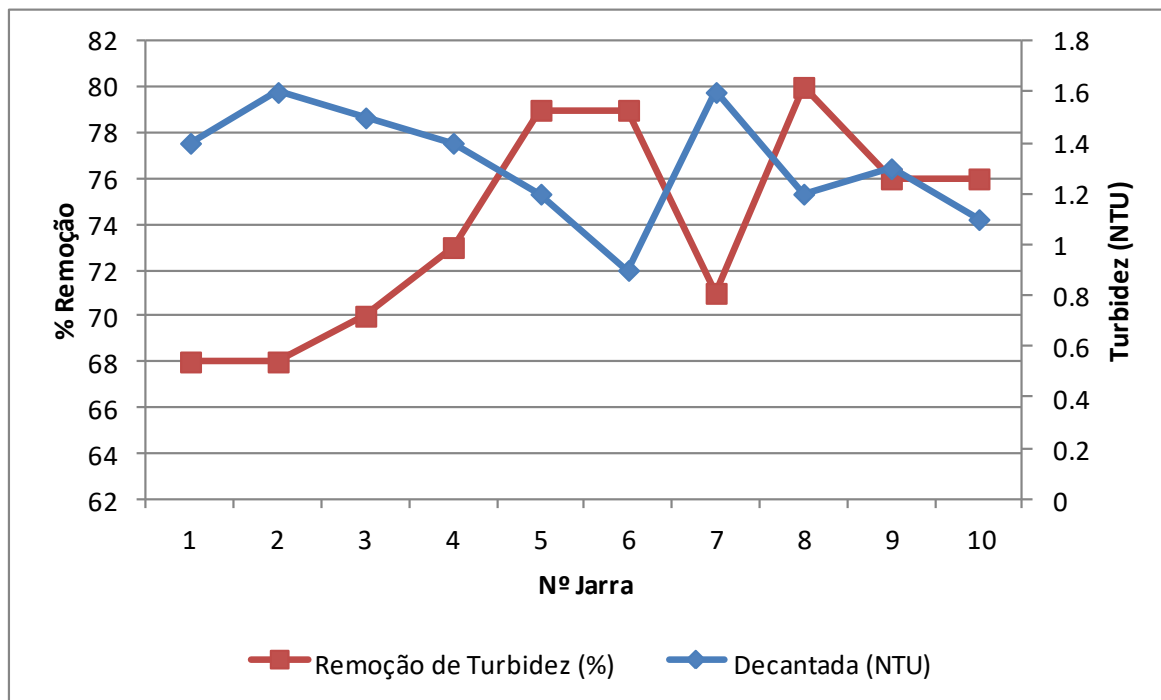
TABELA 21: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo clarificado por sedimentação com taxa de recirculação de 2%.

Identificação Jarra	Concentração do coagulante (mg L⁻¹)	Turbidez da mistura (NTU)	Turbidez da água decantada (NTU)
01 (Referência)	6,10	4,38	1,40
02	5,98	5,07	1,60
03	5,92	4,98	1,50
04	5,86	5,29	1,40
05	5,80	5,79	1,20
06	5,72	4,32	0,90
07	5,64	5,53	1,60
08	5,55	5,84	1,20
09	5,46	5,46	1,30
10	5,39	4,53	1,10

Os resultados observados neste estudo corroboram com Gottfried *et al.* (2008) e Arendze *et al.* (2014), onde relatam que em ETAs convencionais, nos períodos de baixa turbidez da água bruta, a recirculação de ALF, propiciará elevação na concentração de partículas, favorecendo a formação de flocos mais resistentes, contribuindo assim, para melhores eficiências de remoção turbidez. Também, de acordo com Xiao *et al.* (2009), quando no manancial de abastecimento público tem-se águas de baixa turbidez, o processo de remoção das partículas será menos eficiente em relação às águas com turbidez mais elevadas. Justifica-se, em função da baixa concentração de espécies hidrolisadas formadas durante o processo de coagulação e menor velocidade de sedimentação dos flocos (Xiao *et al.*, 2009).

De acordo com Cornwell e MacPhee (2001), o aumento de partículas com a recirculação de ALF, em ETA que possui água bruta com turbidez inferior a 5 NTU, ou seja, baixa turbidez, os resultados sugeriram que a recirculação da ALF, contribui para que fosse inserido turbidez adicional à água bruta, auxiliando no processo de tratamento. Situação esta ocorrida neste experimento, tendo em vista que o valor de turbidez da água bruta era de 4,38 NTU.

FIGURA 24: Remoção de turbidez com diferentes concentrações do coagulante, com taxa de recirculação de 2% e lodo clarificado por 05 minutos.



No melhor desempenho do teste de recirculação a 2% do lodo DATx clarificado, a redução na dosagem do coagulante foi de 13%, valor bastante expressivo e considerável, caso estivesse sendo aplicado na planta da ETA-RF. Este resultado é superior ao valor encontrado por SARON *et al.* (1997), o qual foi de até 10 % de redução de coagulante.

Como observado em estudos de recirculação da água de lavagem de filtros em ETA (FILHO, 1997), foi possível verificar que há redução no consumo de coagulante, quando se utiliza a recirculação do lodo do decantador de alta taxa na proporção de 2%, sem clarificação e por sedimentação de 5 minutos em jarra do *jar test*.

Redução no consumo dos produtos químicos utilizados no tratamento da água, resultará em benefícios ambientais e econômicos para o órgão responsável pela administração e gestão do sistema de abastecimento do município (HOPPEN *et al.*, 2006). Isso impacta, por exemplo, na composição tarifária que é repassado aos contribuintes.

Assim, ao invés do lodo estar sendo lançado nos corpos d'água de uma forma indiscriminada (KATAYAMA, 2012), a possibilidade de sua reutilização, sem ou com tratamento prévio, trará benefícios técnicos e operacionais, contribuindo, também, para com a produção de águas de melhores qualidades.

4.9.3 –Taxa de recirculação de 4% - Lodo bruto do DATx

Na Tabela 22 são apresentados os resultados referentes ao *Jar test* realizado neste trabalho, variando a concentração do coagulante de 9,30 a 8,55 mg L⁻¹, mantendo a taxa de recirculação em 4 %, com o lodo bruto, após ser coletado no módulo de descarga do decantador de alta taxa. O aumento da taxa de recirculação tende a possibilitar volumes maiores de reaproveitamento do lodo.

TABELA 22: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo bruto com taxa de recirculação a 4%.

Identificação Jarra	Concentração do coagulante (mg L⁻¹)	Turbidez da mistura (NTU)	Turbidez da água decantada (NTU)	Remoção de turbidez (%)
01 (Referência)	9,30	6,66	1,50	77
02	8,93	11,79	5,20	55
03	8,84	12,13	5,90	51
04	8,73	8,56	3,80	55
05	8,65	11,40	3,40	48
06	8,55	9,40	5,20	44

Nota - A jarra de número 01 não continha lodo, somente água coagulada do processo da ETA.

Conforme exposto na Tabela 22, observou-se que não foi possível obter resultados satisfatórios nestas condições, quando comparado à amostra que não continha o lodo (jarra de número 01). Os valores absolutos de turbidez da água decantada estiveram bem acima dos obtidos na planta da ETA-RF.

Assim, neste cenário, se torna importante que o lodo seja submetido a algum processo de clarificação, como os propostos em USEPA (2000), Freitas (2007), Le Goullec *et al.* (2004), Cornwell *et al.* (2001) e Moss (2000), afim de que se possa aumentar a taxa de recirculação para valores superiores a 4%, avaliando se haverá redução do consumo do coagulante aplicado no processo da ETA-RF, mantendo as características da água dentro dos padrões aceitáveis de qualidade.

4.9.4 – Taxa de recirculação de 4% - Lodo clarificado a 5 minutos de sedimentação

No ensaio que simulava a recirculação com uma taxa de 4% do lodo do decantador, após ser submetido ao procedimento de clarificação por sedimentação com 5 minutos, variando a dosagem de coagulante de 9,30 a 8,55 mg L⁻¹, foi possível obter eficiências de remoção de turbidez na ordem de até 92% (Tabela 23) havendo a possibilidade de se alcançar redução no consumo de coagulante de aproximadamente 9%, valor este que se aproxima dos 10% de redução obtido por SARON *et al.* (1997), para recirculação de água de lavagem de filtro de ETA.

Para a taxa de recirculação de 4%, a clarificação por sedimentação mostrou-se necessária, uma vez que, nos ensaios de recirculação com o lodo bruto a remoção máxima atingida foi apenas de 55% (Tabela 22).

TABELA 23: Resultados dos ensaios de consumo de coagulante utilizando lodo clarificado por 05 minutos e taxa de recirculação de 4 %.

Identificação Jarra	Concentração do coagulante (mg L ⁻¹)	Turbidez da mistura (NTU)	Turbidez da água Decantada (NTU)	Remoção de Turbidez (%)
01 (Referência)	9,30	6,66	1,50	77
02	8,93	10,77	0,90	91
03	8,84	11,12	1,20	89
04	8,73	12,35	1,80	85
05	8,65	10,25	1,10	89
06	8,55	10,89	0,80	92

Nota - A jarra de número 01 não continha lodo, somente água coagulada do processo da ETA.

4.9.5 – Consumo de coagulante na ETA Renato de Freitas

O consumo de coagulante na ETA-RF, no período de 2013 a 2017, bem como o custo envolvido, se encontram na Tabela 24. Com as informações dessa tabela, seria possível obter uma economia de aproximadamente 685.560,00 Kg de coagulante nos últimos 5 anos, o que representa em termos de custos operacionais um valor aproximado de R\$ 416.374,00, utilizando como referência uma redução de 13% no consumo de coagulante, de acordo com o valor mais expressivo obtido neste projeto. Neste sentido, destaca-se além da importância do aspecto ambiental, a questão econômica da recirculação

do lodo do DATx para o início do tratamento da ETA. A maioria dos gerenciadores dos sistemas de saneamento básico do país é de responsabilidade da administração pública, desta forma havendo redução de custos operacionais do sistema de tratamento de água, os recursos podem ser direcionados em melhorias e fortalecimento do setor.

TABELA 24: Consumo de coagulante na ETA-RF no período de 2013 a 2017.

Produto	Ano	Quantidade (Kg)	Custo (R\$)
Sulfato de Alumínio	2013	556.060,00	244.666,00
	2014	401.000,00	232.580,00
	2015	529.210,00	333.402,00
PAC e Sulfato de Alumínio	2016	738.190,00	604.723,00
PAC	2017	742.730,00	913.557,00
Total		<u>5.273.880,00</u>	<u>3.202.881,00</u>

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.

5 CONCLUSÕES

No ponto de captação de água bruta da ETA Renato de Freitas, de acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005, para águas de classe 2, Rio Uberabinha, se encontra em um patamar de qualidade e preservação satisfatório, para o uso no abastecimento público, a partir do tratamento convencional. Esta situação contribui positivamente para as características do lodo gerado, em termos qualitativos e quantitativos.

Com um tempo de operação de 6 horas, o lodo gerado no decantador de alta taxa com três canais sobrepostos da ETA Renato de Freitas, apresentou características semelhantes, em termos de turbidez, às da água de lavagem de filtros, com um tempo de carreira de 30 horas, no período de maior geração de lodo, entre dezembro e março, sem haver comprometimento das demais etapas do processo de tratamento.

Para os filtros da ETA Renato de Freitas, com um tempo de carreira de 30 horas, com turbidez média de água bruta de 7,85 NTU, o tempo ideal de lavagem foi de 7 a 9 minutos.

Os resultados obtidos quanto à caracterização da água de lavagem dos filtros e do lodo gerado no decantador de alta taxa, demonstrou viabilidade no procedimento de recirculação para o início do processo de tratamento da ETA-RF, sobretudo a não detecção

de *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp. A não ocorrência destes microrganismos pode estar relacionada com a qualidade da água bruta do manancial de captação da ETA, em virtude das características de preservação do mesmo.

Com a clarificação por sedimentação do lodo gerado no decantador de alta taxa com um tempo de operação de 6 horas, foi possível obter resultados satisfatórios para remoção de partículas e de patógenos. Objetivando projeções na planta da ETA, no sentido de otimização dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais a não utilização de polímeros sintéticos no tratamento do lodo clarificado demonstrou ser uma alternativa interessante para o sistema.

Foi possível obter valores expressivos de remoção de turbidez e de cor na água decantada, superiores aos das amostras que não continham o lodo, utilizando a taxa de recirculação de 2%, com o lodo bruto e com o clarificado por sedimentação.

Para a taxa de recirculação de 4%, aplicando o lodo bruto, os resultados não foram consistentes, após ter sido submetido à clarificação por sedimentação, os mesmos foram mais expressivos.

Os resultados obtidos demonstraram ser possível obter redução na dosagem de coagulante de 4 a 13%, mantendo a qualidade da água decantada, com taxas de recirculação do lodo do decantador de 2 e 4%, com e sem clarificação por sedimentação. Eficiências estes importantes, que podem trazer benefícios técnicos, econômicos e ambientais para com o sistema operacional e administrativo da ETA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C.L., BARROSO, M.M., CORDEIRO, J. S. **Leito de drenagem: Sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n. 1, p.54-62, jan/mar. 2008. . <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100008>.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Technology transfer handbook: management of water treatment plant residual. New York, 1996. 294 p.

AGUIRRE, G.H. **Investigação da ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia* em água de lavagem de filtro de estações de tratamento de água de Campinas, São Paulo.** 2003. 37p. Relatório final de Iniciação Científica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2001.

APHA/AWWA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22. ed. Washington DC: APHA, 2012.

ARENDEZE, S.; SIBIYA, M. Filter backwash water treatment options. *Journal of Water Reuse and Desalination*, London, v.4, n. 2, p. 85-91, 2014. <https://doi.org/10.2166/wrd.2013.131>

ARORA, H.; GIOVANNI, G.; LECHEVALLIER, M. **Spent filter backwash water contaminants and treatment strategies.** *Journal AWWA-* American Water Works Association, v. 93, n. 5, p. 100-112, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.2016:** Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15784**: Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano - Efeitos a saúde - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

BABATUNDE A.O., **Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 37, n.2, p. 129-164, 2007. <https://doi.org/10.1080/10643380600776239>

BASHAW, W.T.; GINN, R.; THONSON. Design for Reclaiming Filter Backwash Water at the Janes E. Quarles Water Treatment Plant. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION ANNUAL CONFERENCE, Denver-Co, 2000. **Proceedings...**Denver-CO: AWWA, 2000 (CD-ROM).

BASTOS, R.K.K.; OLIVEIRA, D.C.; FREITAS, A.G.; NASCIMENTO, L.E. Ensaio de tratabilidade e avaliação de desempenho. Recursos fundamentais de projeto e operação de ETA com vistas à otimização do tratamento e da qualidade da água. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, VIII, Belo Horizonte MG. 2005. **Anais ...**Brasília: ASSEMAE, 2005 (CD ROM).

BITTENCOURT, S., SERRAT. B.M., AISSE, M.M., MARIN, L. M. K. S., SIMÃO, C. C., **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de esgoto em solo degradado**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.17, n.3, p.316, 2012.

BOURGEOIS, J. C., WALSH, M. E., GAGNON, G. A. (2004). **Treatment of drinking water residuals: comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios**. Water Research. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.018>.

BRAGA, M. D. *et al.* **Caracterização microbiológica da água de lavagem de filtros e avaliação de diferentes cenários de recirculação**. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30, Anais..., Punta del Este, Uruguay. Montevideo: AIDIS, 2006. CD-ROM.

BRASIL. Portaria de Consolidação Nº 5 de 28/09/2017, Anexo XX do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. **Lex**: Ministro de Estado da Saúde, no uso das atribuições que conferem os incisos I e II do parágrafo único do art. 87 da **Constituição Federal do Brasil**, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 agosto de 2010. **Lex**: Política Nacional de Resíduos Sólidos 2010.

BRAGA, M. D., BEVILACQUA, P. D., BASTOS, R. K., FREITAS, A. G., & FERREIRA, G. M. (2006). Caracterização microbiológica da água de lavagem de filtros e avaliação de diferentes cenários de recirculação. In **Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio** (pp. 1-8). AIDIS.

BRANDÃO, C. J. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos** / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COFIE O.O., AGBOTH S., STRAUSS M., ESSEKU H., MONTANGERO A., AWUAH., KONE D. **Solid-Liquid separation of face al sludge using drying beds in Ghana:**

Implications for nutrient recycling in urban agriculture. Water research, n.40, p. 75-82, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.023>.

CORNWELL, D.; R. LEE. **Recycle stream effects on water treatment.** Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation. **153 p., 1993.**

CORNWELL, D.; MACPHEE, N.M.; MCTIGUE, H.; ARORA, G.; DIGIOVANNI, M.; LE CHEVALLIER, J.; TAYLOR. **Treatment options for Giardia, Cryptosporidium, and other contaminants in recycled backwash water.** Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation, 347p. 2001.

CORNWELL, D. A., e MACPHEE, M. J. (2001). **Effects of spent filter backwash recycle on Cryptosporidium removal.** Journal AWWA - American Water Works Association. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2001.tb09185.x>

CHEN T.; XU, Y.P.; WANG, D., SHI, W., CUI, F. (2015). **The impact of recycling sludge on water quality in coagulation for treating low turbidity source water.** Desalination and Water Treatment, 57:31, 14433-14442. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1070762>

CHEN, T., XU, Y., LIU, Z., ZHU, S., SHI, W., CUI, F. **Evaluation of drinking water treatment combined filter backwash water recycling technology based on comet and micronucleus assay.** Journal of Environmental Sciences 42 (2016) 61 – 70. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.05.020>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências. **Lex: Diário Oficial da União, n.053, p. 58-63, 2005.**

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 201. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera

a Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Lex**: Diário Oficial da União, n.092, p. 89, 2011.

CORDEIRO, J.S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETA. In: REALI, M.A.P., coord. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CORDEIRO, J.S. Micro propriedades de lodos gerenciados em decantadores em estações de água. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., *Anais...* Cancún, México, 2002.

Deliberação Normativa do COPAM nº 153, de 26 de julho de 2010. Convoca os municípios para a regularização ambiental de sistemas de tratamento de água e dá outras providências. O CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM.

DI BERNARDO L., DANTAS, A.D.B. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água** – São Carlos: RiMa, 2002.

DI BERNARDO L., DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água** – volume 1. 2 ed. São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO L., DANTAS. A. B., VOLTAN., P. E. N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. – São Carlos: LDiBe, 2011.

FREITAS, A.G. **Recirculação de água de lavagem de filtros em Escala Piloto: Uma Contribuição para Avaliação de Perigos Associados à Presença de Protozoários** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Viçosa, MG 2007.

FREITAS, A.G., BASTOS, R.K.X., BEVILACQUA, P.D., PÁDUA, V.L., PIMENTA, J.F.P., ANDRADE, R.C. **Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos**

associados a protozoários. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n.1 (2010) 37-46.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000100005>

FREITAS, D.G.; DUARTE, M. A.C.; SANTOS, H. R.; ARAÚJO, A.L.C.; (2017) **Efeitos da Recirculação da Água de Lavagem de Filtros na Qualidade da Água Produzida** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. São Paulo. Anais eletrônicos I-022. Rio de Janeiro, ABES.

FILHO S. S.; WAELKENS, E.B. **Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, n.3, p.317-326, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000300005>

FILHO, S. S.F.; SAKAGUTI, M. **Comportamento Cinético do Cloro Livre em Meio Aquoso e Formação de Subprodutos da Desinfecção.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n.2 (2008) 198-206. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200010>

FILHO S.S.F.; **Tratamento de Água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento** - 1 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FILHO, S.S.F.; (1997). **Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento visando o seu adensamento por gravidade.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos II-025. Rio de Janeiro, ABES. p. 1181-1192.

GOTTFRIED, A., SHEPARD, A.D., HARDIMAN, K., WALSH, M.E. **Impacto freycling filter backwash water on organic removal in coagulation–sedimentation processes.** *Water Research* New York, v. 42, n 18, p. 4683-4691, Nov. 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.011>

GRANDIN, S.R. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água**. São Paulo. 1992. 456f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 1992.

HOPPEN, C., PORTELLA, K.F., JOUKOSKI, A., TRINDADE, E.M., ANREÓLI, C.V. (2006) **Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado e matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental**. In: Revista Química Nova, v. 29, n. 1, p. 79-84. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000100016>

JUNIOR, I.C.S., HARAGUCHI, M.T., UCKER, F.N., BORBA, W.F., KEMERICH, P.D.C. **Avaliação dos sistemas de reutilização da água de lavagem dos filtros de uma estação de tratamento de água: estudo de caso**. Revista Monografias Ambientais.v.13, n.5, p. 3713-3717, 2014.

KAGGWA, R.C., MULALELO, C.I., DENNY, P., OKURUT, T.O. **The impact of alum dischargers on a natural tropical wetland in uganda**. Water Reserch, v. 38, n.3, p. 795-807, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00301-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00301-8)

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Núcleo. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. São Paulo, SP 2012.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2^{ed}. New York: John Wiley e Sons, 691 p. 2000.

KURODA. E. K., SILVEIRA. C.; **Drenagem / Secagem de lodo de decantadores de ETA em manta geotêxtil**. Revista DAE, nº 194; p.194; janeiro-abril 2014.

LE GOUELEC, Y.A.; CORNWELL, D.A.; MACPHEE, M.J. **Treating micro filtration backwash.** Journal AWWA, v.96, n.1, p.72-83, 2004. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2004.tb10535.x>

MOSS, L. Backwash water return effects: evaluation and mitigation. In: AWWA, WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Salt Lake City, UT. 2000. **Proceedings...** Denver, CO: AWWA, 2000.

NETO, J. M. A., C.A.R. **Tratamento de água: tecnologia atualizada** – São Paulo: Edgar Blucher, 1991.

OLIVEIRA, C.A., BARCELO, W.F., COLARES, C.J.G. **Estudo das características físico-químicas da água de lavagem de filtro em uma estação de tratamento de água para fins de reaproveitamento.** IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 11, 2013, pp. 113-130.

PETERSEN, D.W; CALHOUN, B. Do You Recycle? Results of AWW's recycle practices survey. In: AWWA WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Anaheim, Ca., 1999. **Proceedings...**Denver, CO: AWWA, 1995.

QASIM, S.R.; MOTLEY, E. M.; ZHU, G. **Water works engineering: planning, desing and operation.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 844 p.

RAJ, C.B.C., KWONG, T.E., CHENG, W.W., FONG, L.M., TIONG, S.H., KLOSE, P.S. **Wash water in waterworks: contaminants and process options for reclamation.** Journal of Environmental Sciences 20 (2008) 1300–1305. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62225-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62225-1)

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009.

ROTH, D.K. *et al* **Implementing residuals management: costs implication for coagulation and softening plants.** *Journal American Water Works Association*, v. 100, n. 3, p. 81-93, mar. 2008. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2008.tb09583.x>

SANTOS, B. **Avaliação da Aplicação do Sistema de Leito de Drenagem como Tratamento de Lodo da Estação de Tratamento de Água Bom Jardim em Uberlândia MG.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Civil - Uberlândia, MG 2012.

SARON, A.; SILVA, E.P. (1997). **Redução na dosagem de sulfato de alumínio na ETA Guarau com a utilização do sistema de recuperação de água de lavagem de filtros.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos II-011. Rio de Janeiro, ABES. p. 1088-1095.

SOUZA FILHO, A.G. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam cloreto férrico como coagulante primário.** 1997. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 1998.

SCALIZE, P. S. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1997.

SUMAN, S., SINGH, N. P., & SULEKH, C. (2012). **Effect of Filter Backwash Water when lends with Raw Water on Total Organic Carbon and Dissolve Organic Carbon Removal.** *Research Journal of Chemical Sciences*.

TOBIASON, J.E.; EDZWARD, J.K; LEVESQUE, B.R.; KAMINSKI, G.S.; DUNN, H.J; GALANT, P.B. **Full-Scale assessment of waste filter backwash recycle.** *Journal AWWA* v.95, n.7 p.80-93, 2003. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2003.tb10410.x>.

TOBIASON, J.E.; EDZWARD, J.K.; LEVESQUE, B.R.; KAMINSKI, G.S.; DUNN, H.J.; GALANT, P.B. Water quality impacts of filter backwash recycle. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION ANNUAL CONFERENCE, Tampa, 1999. **Proceedings...** Denver-CO: AWWA, 1999 (CD-ROM).

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Filter backwash recycling rule. Technical guidance manual.** Washington, DC: USEPA, Office of Ground Water and Drinking Water. 2002, 166p. (EPA 816-R-02-014).

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations. Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule; Proposed Rule. Part II (40 CFR, Parts 141, and 142).** Washington, DC, Federal Register, Rules and regulations, Federal Register/V. 65, n. 69/Monday, April 10, 2000/Proposed Rules, p. 19046-19150.

VALÈNCIA, J. A. (2000) **Teoría y práctica de la purificación del agua.** 2ª Edición, 1155p. Editora McGraw Hill. Santa fé de Bogotá, Colômbia.

XIAO, F., ZHANG, B.J., Ma, J., Yi, P., & Cui, C.-W. (2009). **Effects of low temperature on floc fractal dimensions and shape factors during alum coagulation.** Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. <https://doi.org/10.2166/aqua.2009.019>.

ZHOU, Z., YANG, Y., LI, X., GAO, W., LIANG, H., & Li, G. (2012). **Coagulation efficiency and flocs characteristics of recycling sludge during treatment of low temperature and micro-polluted water.** Journal of Environmental Sciences. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60866-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60866-8).

YAO, M., J. NAN, T. CHEN, **Effect of particle size distribution on turbidity under various water quality levels during flocculation processes.** Desalination. 354 (2014) 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.09.029>.

ANEXO A

TABELA 1A: Características na planta da ETA Renato de Freitas durante o ensaio de *jar test* com taxa de recirculação de 2% de lodo.

<i>Amostra</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
Água Bruta	Cor Aparente	uC	32,1
	pH	-	6,18
	Turbidez	NTU	6,70
	Vazão da ETA	L s ⁻¹	1030
Água Coagulada	pH	-	6,88
Água Decantada	Turbidez	NTU	0,94
	Cor Aparente	uC	8,60
Dosagem de Coagulante		mg L ⁻¹	9,40

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.

TABELA 2A: Características na planta da ETA R.F - Ensaio de *Jar test* com taxa de recirculação de 2% do lodo clarificado por 05 minutos.

<i>Amostra</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
Água Bruta	Cor Aparente	uC	36,60
	pH	-	6,00
	Turbidez	NTU	5,13
	Vazão	L s ⁻¹	1100
Água Coagulada	pH	-	6,96
Água Decantada	Turbidez	NTU	0,98
	Cor Aparente	uC	12,40
Dosagem de Coagulante		mg L ⁻¹	9,10

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.

TABELA 3A: Características na planta da ETA R.F - Ensaio de *jar test* com taxa de Recirculação de 4%.

<i>Amostra</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
Água Bruta	Cor Aparente	uC	38,5
	pH	-	6,01
	Turbidez	NTU	9,40
	Vazão	L s ⁻¹	1030
Água Coagulada	pH	-	6,84
Água Decantada	Turbidez	NTU	1,62
	Cor Aparente	uC	11,80
Dosagem de Coagulante		mg L ⁻¹	11,3

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.

TABELA 4A: Características na planta da ETA durante realização do ensaio de consumo de coagulante com taxa de recirculação de 2 % com lodo bruto.

<i>Amostra</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
Água Bruta	Cor Aparente	uC	23,40
	pH	-	6,04
	Turbidez	NTU	5,12
	Vazão	L s ⁻¹	1080
Água Coagulada	pH	-	7,10
Água Decantada	Turbidez	NTU	0,91
	Cor Aparente	uC	12,30
Dosagem de Coagulante		mg L ⁻¹	8,10

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.

TABELA 5A: Características na planta da ETA durante ensaios de consumo de coagulante - Taxa de recirculação do lodo em 2 % e 05 minutos de clarificação por sedimentação.

<i>Amostra</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
Água Bruta	Cor Aparente	uC	24,40
	pH	-	6,47
	Turbidez	NTU	4,38
	Vazão	L s ⁻¹	1080
Água Coagulada	pH	-	6,90
Água Decantada	Turbidez	NTU	1,16
	Cor Aparente	uC	7,40
Dosagem de Coagulante		mg L ⁻¹	6,10

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.

TABELA 6A: Características na planta da ETA durante realização do ensaio de consumo de coagulante com taxa de recirculação de 4 %.

<i>Amostra</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
Água Bruta	Cor Aparente	uC	30,60
	pH	-	6,36
	Turbidez	NTU	6,66
	Vazão	L s ⁻¹	1080
Água Coagulada	pH	-	7,00
Água Decantada	Turbidez	NTU	1,50
	Cor Aparente	uC	9,90
Dosagem de Coagulante		mg L ⁻¹	9,30

Fonte: Boletim de Controle Diária da ETA Renato de Freitas.