

I-126 - CARACTERIZAÇÃO QUALI QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETA DE FILTRAÇÃO DIRETA EM ESCALA REAL

Thiago Mendes de Brito⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestrando em Engenharia Sanitária no PPgES/UFRN.

Marco Antônio Calazans Duarte⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP, 2011). Ex-engenheiro e pesquisador da CAERN (1982-2016). Professor titular e membro do Núcleo de Pesquisas em Saneamento Básico do IFRN (1996 - ...).

André Luis Calado Araújo⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Campina Grande/PB. Doutor em Engenharia Civil pela University of Leeds. Professor titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte e colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Tororós, 2396 – Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59054-550 - Brasil - Tel: (84) 99847-4368 - e-mail: thiagomendes33@gmail.com

RESUMO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) geram resíduos que necessitam de uma gestão eficiente e eficaz, de forma que se lhes dê devida destinação e tratamento e se adeque tal geração aos instrumentos regulatórios vigentes, obtendo-se soluções que causem os mínimos impactos possíveis ao ambiente e à saúde humana. A caracterização de resíduos gerados em ETA apresenta um grande potencial técnico e científico uma vez que a obtenção de dados acerca dos resíduos gerados embasa e facilita a tomada de decisões quanto à otimização dos processos de tratamento, com ganhos em eficiência, chegando eventualmente a induzir mudanças na tecnologia. Além disso, outra justificativa para a caracterização pauta-se na sustentabilidade, à medida que se propõe alternativas ao reuso de componentes residuais com importância ambiental, técnica e econômica. As características do resíduo gerado possuem relação direta com parâmetros operacionais da ETA, à medida que é possível obter medidas de correlação entre as variáveis envolvidas. Nesse contexto, percebe-se a carência por estudos que relacionem as características dos resíduos gerados com os demais parâmetros operacionais de uma ETA. O presente estudo traz uma análise crítica acerca da caracterização quali-quantitativa dos resíduos gerados em ETA de filtração direta em escala real, correlacionando os resultados obtidos com outros trabalhos e avaliando ainda a eficiência da lagoa de sedimentação enquanto tecnologia de tratamento de resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Água de Lavagem de Filtros, Filtração Direta, Lagoa de Sedimentação, Recirculação, Resíduos de ETA.

INTRODUÇÃO

Especialmente no Brasil, grande número de ETA ainda é gerido sob uma condição em que não há um direcionamento adequado, do ponto de vista técnico, sobre a geração de resíduos durante as etapas de tratamento. Um dos fatores que contribui para que haja essa lacuna, no que diz respeito ao ineficaz gerenciamento dos resíduos, reside nas omissões, falhas ou muitas vezes inexistência de órgãos de controle e fiscalização da quantidade e qualidade gerada de resíduos, ou seja, de suas características gerais, os quais ainda em dias atuais são destinados de forma bruta para corpos d'água, por boa parte das ETA no país.

Um estudo desenvolvido por Achon et al. (2013) já demonstrava o tamanho do desafio para o saneamento brasileiro que seria lidar com a geração e principalmente com a gestão, então atual, dos resíduos gerados em ETA. Os números corroborados pela referida pesquisa foram levantados por Cordeiro (1993), Morita et al. (2002) e ainda pelo próprio Ministério Público do Estado de Minas Gerais (2009) e revelavam, por exemplo, que nos estados de São Paulo e principalmente em Minas Gerais (87% lançavam o lodo sem tratamento), a

maioria das ETA ainda lançava os resíduos gerados de forma bruta nos mananciais, contribuindo com um grave passivo ambiental para as gerações atuais e futuras. Pesquisas futuras tornam-se necessárias não apenas para atualizar tais dados, mas para avaliar o nível de estagnação ou desenvolvimento do saneamento no que se refere à gestão de resíduos gerados em ETA.

Se formos buscar informações acerca do número de ETA no Brasil e quais as tecnologias de tratamento empregadas, veremos que grande parcela ainda apresenta a configuração de ciclo completo como tecnologia de tratamento largamente adotada. No entanto, em áreas que apresentam parâmetros técnicos favoráveis à adoção de configurações de ETA mais compactas e tecnologias mais simplificadas, encontramos a tecnologia de Filtração Direta (FD) como uma das mais adequadas (Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008). O autor ainda afirma que desde 2003, muitos projetos de ETA de ciclo completo vêm sendo concebidos com a opção de se operar alternativamente como filtração direta em períodos de estiagem (quando há uma melhoria na qualidade da água bruta, de forma geral), como forma de se gerar economia com produtos químicos (tais como coagulantes e alcalinizantes) e por consequência gerar resíduos com um percentual menor de sólidos adensáveis. O que se percebe a partir dessa tendência de mais de uma década atrás é a possibilidade do crescimento da tecnologia de FD para tratamento de águas advindas de mananciais superficiais de melhor qualidade.

Um dos parâmetros técnicos determinantes para se dispensar o uso da tecnologia de ciclo completo é exatamente a melhoria da qualidade da água bruta. Considerando uma água bruta de melhor qualidade, e especialmente que se apresente um nível de turbidez mais baixo (algo abaixo de 50 uT) isso torna possível ao projetista, dentre outras variáveis de dimensionamento, que se adote uma tecnologia de filtração direta para tratamento de água, de modo que sejam atendidas as demandas qualitativas dos instrumentos regulatórios de potabilidade vigentes no país (Brasil, 2011).

Ao se perceber a forte correlação existente entre a qualidade da água bruta e a característica do resíduo gerado, estudos sobre caracterização ganham relevância tanto no cenário empresarial, do ponto de vista técnico/econômico, quanto em âmbito acadêmico/científico, uma vez que a adoção de uma etapa de tratamento de resíduos mais adequada passa a ser consequência direta de uma melhor compreensão e conhecimento das características quali-quantitativas dos resíduos gerados em ETA.

Assim sendo, o presente estudo tem como objetivo apresentar uma análise crítica acerca das características qualitativas e quantitativas dos resíduos gerados em uma ETA de Filtração Direta em escala real, correlacionando-as com os parâmetros operacionais da ETA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na ETA de Extremoz (RN) que se localiza a cerca de 20 km do centro da cidade de Natal. A ETA capta a água bruta a partir da Lagoa de Extremoz. Em se tratando de tecnologia de tratamento, a ETA objeto de estudo é composta por processos unitários subsequentes que se subdividem em: pré-oxidação, coagulação, floculação, filtração direta descendente e desinfecção. A estação é operada como tecnologia de filtração direta, apesar de ter sido projetada como de ciclo completo. Tal fato se deve principalmente às características da água bruta, uma vez que não há formação de flocos suficientemente grandes e densos para gerar sedimento de fundo nos decantadores, mesmo após testes de varredura de dosagem ótima, ou correção de alcalinidade. A baixa turbidez da água bruta é um dos principais fatores contribuintes para a baixíssima formação de sólidos sedimentáveis.

A Figura 1 ilustra o layout da ETA e seus respectivos fluxos afluentes e efluentes que dizem respeito ao tratamento da água bruta, que percorre processos unitários subsequentes, os quais geram, por sua vez, resíduos que são tratados e parcialmente recirculados na ETA.

As linhas de fluxos de maior interesse para o presente estudo estão destacadas na Figura 1 pelas cores alaranjada (denominada na legenda de “descarga de lodo”), que representa essencialmente o fluxo da água de lavagem dos filtros (ALF), e rosa, que representa a linha de recirculação do efluente clarificado da lagoa de sedimentação (ECL) (legenda: água de recirculação).

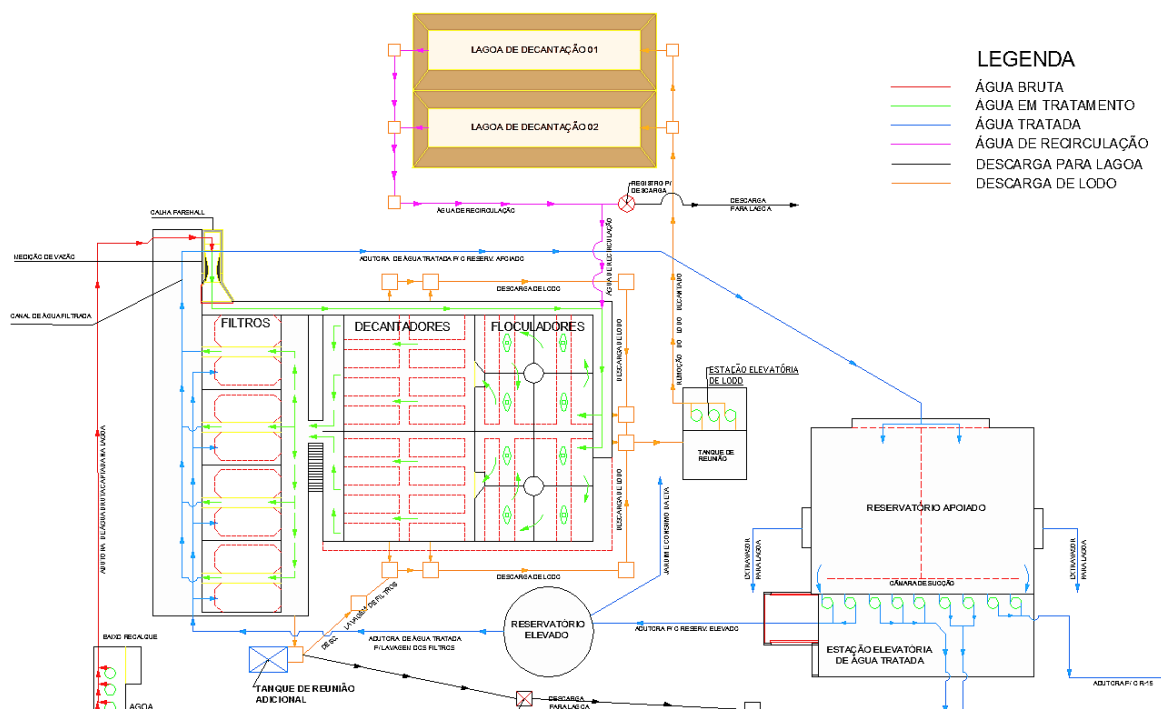


Figura 1 – Fluxograma da ETA Extremoz. Fonte: adaptado de Freitas (2016).

O tratamento é iniciado com a pré-oxidação, que é realizada na água bruta à montante da passagem pela calha Parshall, onde é medida a vazão operacional da ETA, atualmente em 650 L/s, com a dosagem estimada de 0,8 mg/L de cloro gasoso. Imediatamente à jusante da pré-oxidação, é dosado 1 mg/L do coagulante químico hidroxiclreto de alumínio (PAC23) líquido. Após ambos os processos, a água segue o tratamento ao passar pelos floculadores e decantadores até chegar aos filtros rápidos descendentes de areia (FDA). Os 04 (quatro) FDA são preenchidos por material filtrante arenoso de granulometria conhecida (variando ϕ de 0,5 a 3,2 mm) em camadas que perfazem uma altura de 60 cm, cuja camada suporte possui 45 cm de altura e é composta por pedregulhos também com granulometria conhecida (variando ϕ de 3,2 a 19 mm). Os filtros operam segundo uma carreira de filtração que oscila entre 16 e 48 horas. Essa variação é orientada segundo o aumento ou diminuição da perda de carga apresentada nos filtros, bem como pela alteração de parâmetros físico-químicos da água tratada, tais como cor aparente e turbidez, monitorados continuamente nos laboratórios da ETA. Assim sendo, os filtros são lavados de forma intercalada a cada 4, 6, 8 ou 12 horas.

O componente residual do tratamento e objeto do estudo (ALF) é gerado durante a lavagem de cada um dos filtros, realizada em contra-fluxo por um período de 5 minutos. As impurezas retidas na superfície e nos interstícios do material filtrante são removidas por um processo de expansão controlada durante o período de retrolavagem. A água destinada para o procedimento advém do reservatório elevado (Figura 1) que armazena 350 m³ de água tratada, volume suficiente para atender a demanda de estimados 200 m³, consumidos durante os 5 minutos de cada processo de lavagem, refletindo uma vazão aproximada de 667 L/s. O volume de ALF gerado é encaminhado para tanques de reunião e então bombeado periodicamente para a lagoa de sedimentação 02 (Figura 1), única em operação dentre as duas unidades disponíveis na Estação. A lagoa de sedimentação possui um volume útil aproximado de 5000 m³, recebe cargas de ALF em picos de vazão afluyente (logo após os curtos períodos de lavagem dos filtros) e gera um efluente clarificado (ECL) contínuo que retorna integralmente para a ETA em uma linha de recirculação instalada na entrada dos floculadores (Figura 1).

O objetivo inicial do estudo foi realizar uma caracterização em duas vertentes: a qualitativa, através de análises físico-químicas de amostras de ALF, ECL e água bruta; e quantitativa, por meio de estimativas das vazões envolvidas no processo de lavagem dos filtros, incluindo tanto a vazão de água tratada consumida durante o procedimento de lavagem dos filtros, que se traduz em vazão de ALF afluyente à lagoa de sedimentação, quanto a vazão de ECL recirculada.

Visando a caracterização qualitativa dos resíduos, foram coletadas amostras semanais durante um período de quase 6 meses, de novembro de 2017 a abril de 2018. Durante cada procedimento de lavagem de filtro, escolhido aleatoriamente, foram constituídas 7 amostras de 1 L, sendo 6 amostras de ALF, minuto a minuto, considerando-se o instante inicial (ALF 0) e o término da lavagem (ALF 5), além de 1 amostra de ALF composta (ALF MIX) representativa dos 5 minutos de lavagem (Tabela 1). Além dessas, 2 outras amostras, de efluente clarificado da lagoa de sedimentação (ECL) e de água bruta (AB) foram coletadas no mesmo dia de coleta de ALF, visando embasar a análise comparativa dos dados de caracterização qualitativa, uma vez que as características de cada uma das amostras tendem a apresentar correlações entre si.

Tabela 1 – Denominação das amostras coletadas semanalmente para análise qualitativa.

AB	ECL	ALF MIX
ALF 0	ALF 1	ALF 2
ALF 3	ALF 4	ALF 5

A coleta de ALF foi realizada diretamente na calha de lavagem do filtro. Para tal, utilizou-se uma bomba submersa que opera em uma faixa de vazão entre 450 L/h e 1400 L/h. Com o auxílio de um registro de esfera instalado na saída da bomba, foi possível controlar a referida vazão e mantê-la constante a 450 L/h durante os 5 minutos de lavagem, de modo que o volume bombeado e armazenado de 37,5 litros fosse representativo em relação a todo o período de lavagem de forma contínua. Dessa maneira, foi possível retirar amostras pontuais relativas a cada minuto de lavagem (ALF0, ALF1, ALF2, ALF3, ALF4 e ALF5) e ao mesmo tempo armazenar uma amostra composta representativa (ALF MIX).

As amostras foram analisadas em laboratório, no mesmo dia de cada coleta, à luz dos parâmetros: turbidez, cor (aparente e real), pH, temperatura, absorvância 254 nm, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), clorofila 'a' e oxigênio consumido por matéria orgânica natural (OC/MON). Todos os parâmetros seguiram protocolos internacionais como os apresentados por Standard Methods (APHA, 2012) e quando ausente, foram seguidos protocolos de análises preconizados na NBR 10739.

No âmbito da caracterização quantitativa dos resíduos gerados, dois fluxos de interesse foram avaliados para as estimativas de vazões: o volume de água tratada consumido durante uma lavagem de filtro e a vazão de ECL que retorna para a ETA na linha de recirculação. O primeiro foi determinado por meio de um medidor de vazão proporcional instalado em um trecho reto de tubulação de 600 mm de ferro fundido através de um hidrômetro de ϕ 20 mm instalado em tubulação de PVC. Por meio de equações que mensuram a real proporcionalidade entre a vazão que atravessa o hidrômetro (q) e a vazão que flui através do tubo de 600 mm (Q), foi possível estimar que o fator de conversão é da ordem de 5150, ou seja: $Q = q \times 5150$. Dessa forma foi possível estimar a vazão de ALF que é gerada durante a lavagem de filtro e encaminhada para a lagoa de sedimentação. A vazão de ECL recirculada foi mensurada por meio de volumetria simples, utilizando-se de um recipiente de volume conhecido (30 L), o qual recebia toda a vazão efluente de ECL por um determinado tempo, tendo sido repetido o procedimento por várias vezes em dias e horários distintos, antes e depois da descarga de ALF na lagoa de sedimentação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da caracterização qualitativa do estudo estão expostos nas Tabelas 2 e 3, correspondentes às análises físico-químicas das amostras de ALF, ECL e água bruta, após um tratamento estatístico básico, o qual revela valores das médias, desvios padrões e coeficientes de variação (CV) correspondentes de cada parâmetro avaliado.

Tabela 2 – Resultados das análises físico-químicas das amostras após tratamento estatístico.

Parâmetros / Amostras		AB	ECL	ALF MIX	ALF 0	ALF 1	ALF 2	ALF 3	ALF 4	ALF 5
TURBIDEZ (uT)	Média	14,62	7,85	53,05	4,33	177,63	62,34	29,37	19,97	13,48
	Desvio Padrão	4,85	2,72	20,13	1,06	74,54	25,88	16,63	9,47	7,56
	CV	33,19	34,68	37,94	24,43	41,96	41,51	56,61	47,42	56,07
COR APARENTE (uH)	Média	38,52	40,03	280,34	36,29	722,91	319,91	163,24	118,49	80,72
	Desvio Padrão	8,31	9,87	79,46	8,72	234,05	123,38	78,91	52,99	45,15
	CV	21,56	24,66	28,34	24,04	32,38	38,57	48,34	44,72	56,07
SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)	Média	168,46	173,98	234,76	162,79	372,32	254,83	207,25	199,67	188,19
	Desvio Padrão	29,56	23,81	32,47	17,44	79,02	38,23	30,09	21,08	20,07
	CV	17,55	13,69	13,83	10,71	21,22	15,00	14,52	10,56	10,67
SÓLIDOS SUSP TOT (mg/L)	Média	6,00	6,00	67,06	5,25	197,63	78,15	36,73	25,95	16,77
	Desvio Padrão	2,92	3,32	24,79	2,77	71,54	34,54	21,10	14,23	10,59
	CV	48,59	55,28	36,96	52,74	36,20	44,19	57,44	54,83	63,18

A Tabela 2 expõe os resultados das análises que foram realizadas para todas as amostras parciais de ALF, além das amostras de AB, ECL e ALF MIX, com o intuito de avaliar as características da ALF minuto a minuto durante a lavagem do filtro, sob a ótica de cada parâmetro.

Os resultados apresentados na Tabela 3 traduzem as análises realizadas apenas para as amostras de AB, ECL e ALF MIX, visando avaliar a presença de matéria orgânica e fitoplâncton nas amostras de AB, ALF e ECL.

Tabela 3 – Estatística descritiva básica de parâmetros analisados para grupo amostral específico.

Parâmetros / Amostras		AB	ECL	ALF MIX
COR VERDADEIRA (uH)	Média	17,19	18,13	16,27
	Desvio Padrão	4,41	4,52	3,53
	CV	25,64	24,92	21,87
ABSORB 254 nm (cm ⁻¹)	Média	0,159	0,139	0,141
	Desvio Padrão	0,018	0,024	0,011
	CV	11,36	17,39	8,03
CLOROFILA A (µg/L)	Média	12,52	33,78	24,03
	Desvio Padrão	4,97	17,16	15,80
	CV	39,68	50,82	65,75
OC/MON (mg/L)	Média	5,59	5,60	11,94
	Desvio Padrão	0,72	1,08	2,45
	CV	12,84	19,29	20,56

As análises de sólidos sedimentáveis em Cone Imhoff foram realizadas minuto à minuto e demonstraram que as amostras de ALF1 apresentaram sedimentabilidade média de 14 ml/L.hora e valores máximos na ordem de 25 ml/L.hora, enquanto que as demais amostras de ALF 2, 3 e 4 apresentaram valores muito baixos, em torno de 1 ml/L.hora ou mesmo próximos a zero.

No período inicial das coletas, entre os meses de Dezembro de 2017 e Fevereiro de 2018, os resultados de sólidos sedimentáveis demonstravam uma maior sedimentabilidade dos flocos. Tal fato pode ser explicado pelo residual de coagulante que se mantém presente por um tempo tanto no efluente clarificado que é recirculado (ECL) como também nos interstícios do material arenoso dos filtros. Por uma determinação técnica superior, os operadores pararam de dosar o PAC (coagulante) desde meados de Dezembro, no entanto, a característica do resíduo parece ter-se modificado apenas quase dois meses depois, pelos motivos já mencionados.

Os resultados das análises dos últimos dois meses de coleta, apesar do período intenso de chuvas entre Março e Abril de 2018, apresentaram valores mais atenuados nos parâmetros que possuem correlação direta ou indireta com a presença e formação de sólidos, tais como Turbidez, Sólidos Totais e Totais Dissolvidos. De forma análoga, tal fato pode ser justificado pelo efeito da parada na dosagem do coagulante por um período mais prolongado, e além disso, também devido a uma sutil melhoria na qualidade da água bruta.

No que tange à caracterização quantitativa dos resíduos, os resultados das medições de vazões revelaram que para a água tratada usada na lavagem dos filtros, há um consumo médio de 0,03 m³ no hidrômetro de vazão proporcional durante os 5 minutos. Isso equivale a uma vazão “q” de 0,1 L/s. Realizando-se a equivalência entre a vazão “q” e a vazão “Q”, temos: $Q = q \times 5150 \rightarrow Q = 0,1 \text{ L/s} \times 5150 \rightarrow Q = 515 \text{ L/s}$.

Essa vazão revela uma geração estimada em aproximadamente 155 m³ de ALF a cada procedimento de lavagem. Considerando uma média de 4 lavagens por dia (um filtro lavado a cada 6 horas) tem-se a geração diária de 620 m³ de ALF, bombeados para a lagoa de sedimentação. Quanto à vazão de ECL efluente à lagoa, após as medições na linha de recirculação, estimou-se uma vazão média de 4,6 L/s o que representa um volume diário de 397,44 m³ de ECL. Importante destacar que o volume de ECL equivale a aproximadamente 64% de ALF recirculada após clarificação, tendo-se portanto, uma perda em torno de 36% para evaporação e infiltração, sendo a maior parcela para a primeira. Tal dado expõe um resultado esperado no que diz respeito ao balanço hídrico no interior do reservatório. O estudo de Lopes *et al* (2015) afirma que para o clima semiárido pode ser encontrado valores de até 60% de taxa de evaporação, mesmo que tais valores sejam estritamente dependentes da curva cota-área-volume do reservatório. Entretanto, a partir de números dessa magnitude, é possível concluir que para a realidade do clima tropical úmido (As) da região de estudo, os valores encontrados condizem com a realidade.

As características do resíduo gerado (ALF) são bastante peculiares e seus parâmetros apresentam elevada variabilidade. Di Bernardo *et al*. (2011) já demonstravam através do estudo de 4 ETA (sendo 3 de ciclo completo e 1 de filtração direta ascendente) que as características dos resíduos variam de acordo com o tipo de tecnologia de tratamento, tipo de lavagem, método de filtração e tipo de coagulante utilizado. O estudo relaciona resultados que demonstram uma turbidez da ALF composta variando entre 58 e 171 uT, representando uma variação de quase 300%, enquanto que os SST, atingindo números entre 59 e 313 mg/L, também refletia uma alta variação acima dos 500%. O que o autor infere e que o presente estudo corrobora é que a composição de cada resíduo gerado possui ligação intrínseca não apenas com as características da AB, mas também com fatores técnicos operacionais como principalmente a dose do coagulante e de outros produtos químicos. Outra pesquisa recente (Freitas, 2017), que avaliou amostras de AB e ECL também da ETA de Extremoz, já demonstrava a alta variabilidade das características de AB e do ECL e os consequentes efeitos na análise dos parâmetros do estudo.

Outro ponto a ser destacado é a eficiência da lagoa de sedimentação quanto à remoção de turbidez e redução de SST. A Tabela 2 evidencia tal afirmação, uma vez que a turbidez média de ECL representa valores quase 7 vezes menor do que a turbidez média de ALF MIX, o que implica em uma redução de mais de 85%. No caso dos ST a redução é menor (em torno de 26%) pois a parcela dos sedimentáveis se revela em minoria quando comparada à parcela dos dissolvidos ou mesmo dos SST com sua incrível redução de quase 91% em média.

Avaliando os resultados das análises de Turbidez e SST das amostras de ALF minuto a minuto é possível inferir que ocorre ainda uma melhoria na qualidade da ALF ao longo do tempo, considerando os valores obtidos. No entanto, os resultados de ST e principalmente os ensaios de sedimentabilidade revelaram que a quantidade de sólidos sedimentáveis em amostras de ALF do 2º minuto em diante até o final da lavagem tendia a zero. Isso sugere que existe claro potencial para estudos que avaliem a redução do tempo de lavagem dos

filtros tendo como consequência pró-sustentabilidade uma considerável diminuição no consumo de água tratada na ETA utilizada para a lavagem dos filtros.

A Figura 2 revela a semelhança entre o comportamento ascendente e descendente das curvas que representam as médias dos resultados das análises de cada parâmetro associado. Os parâmetros ST e SST têm os resultados em mg/L, Turbidez apresenta os resultados em uT e a Cor em uH. Vale ressaltar que no instante inicial (ALF 0) a turbidez da ALF é inferior à água bruta, uma vez que a água coletada no instante zero equivale à água pré-oxidada e ‘decantada’ (apesar da não formação de sedimento significativo nos decantadores). No instante final da lavagem, no 5º minuto, a ALF 5 apresenta valores médios de turbidez equiparáveis aos apresentados pelas análises de AB.

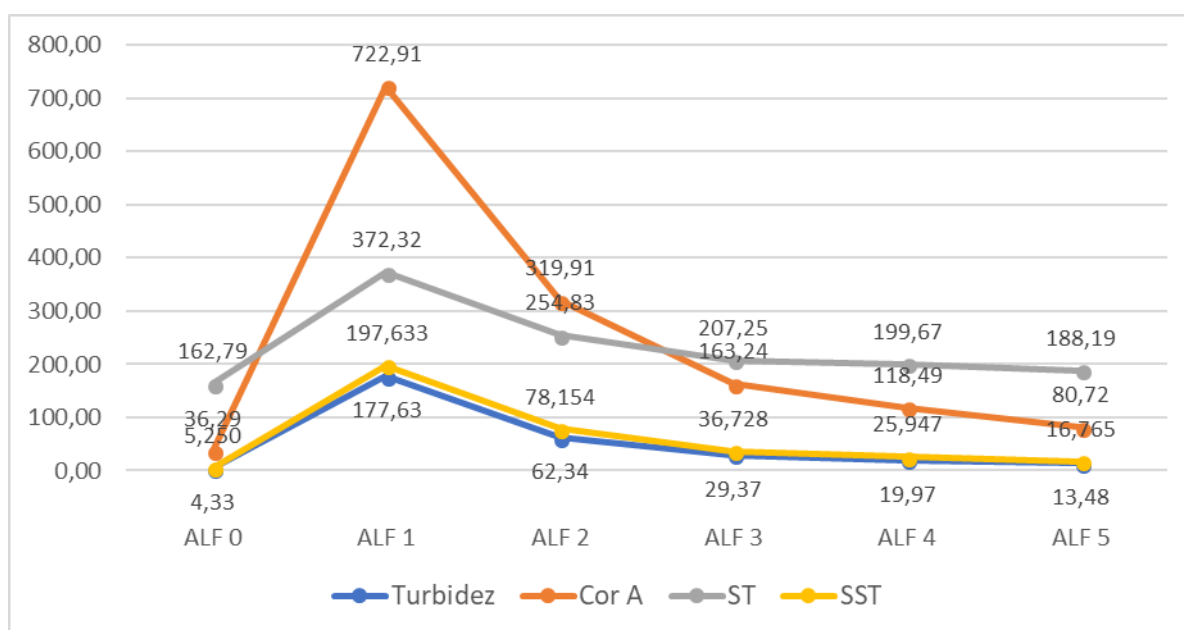


Figura 2 – Comparativo entre parâmetros analisados da ALF minuto a minuto.

Em termos da análise quantitativa do presente estudo, é importante ressaltar que estimativas operacionais da própria ETA e pesquisas anteriores (NG, 2017) consideravam um consumo de água tratada em torno de 200 m³ por lavagem, o que o estudo atual demonstrou estar razoavelmente majorado (foi estimado um consumo de 155 m³ durante os 5 minutos de lavagem). A vazão estimada anteriormente em 667 L/s para a lavagem dos filtros foi verificada na ordem de 515 L/s.

CONCLUSÕES

Após a realização do estudo, foi possível concluir que o conhecimento das características do resíduo gerado e as relações existentes com os parâmetros operacionais envolvidos são de suma importância para se nortear uma decisão futura. No que tange a mudanças tecnológicas, existe potencial para estudos com esse enfoque, visando a melhoria na qualidade da água ou uma menor geração de resíduos através de processos mais eficientes.

A alta variabilidade das características físico-químicas dos resíduos dificulta o seu tratamento, porém conduz a descobertas de fatores de correlação entre as variáveis, culminando em ganhos técnico-científicos.

A lagoa de sedimentação, enquanto tecnologia de tratamento de ALF, possui por um lado elevada eficiência na remoção de turbidez e de sólidos suspensos. Por outro lado, favorece as florações de algas e cianobactérias em clima tropical devido à alta incidência solar. Outro ponto negativo da tecnologia se revela no fato da mesma demandar grande área para instalação, principalmente quando se pretende minimizar custos com manutenção e descarga de lodo de fundo.

Estudos sobre tecnologias alternativas para o tratamento de resíduos gerados em ETA podem ser conduzidos com base nos resultados obtidos pelo presente trabalho, com vistas na geração de maiores contribuições científicas e no encontro de soluções mais viáveis, técnica e financeiramente para aplicação em escala real.

Pesquisas complementares e suplementares que abordem com maior profundidade o enfoque da microbiologia existente na AB, na ALF e no ECL possuem alto valor científico agregado, uma vez que tendem a suprir lacunas e demandas que o presente estudo não tenha atingido.

A base empírica gerada pelo presente estudo pode nortear estudos correlatos e outros mais aprofundados na mesma área de pesquisa, considerando as condições técnicas e operacionais avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.18, n.2, p.115-122. Rio de Janeiro-RJ, 2013.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater, 2012.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Anexo VII. Brasília-DF, 2011.
4. CORDEIRO, J. S. O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 342 p. São Carlos-SP, 1993.
5. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.; VOLTAN, P.E.N. Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água, 1 ed. LDiBe Editora, São Carlos-SP, 2011.
6. DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Livro. 878 p. v. 1. Editora LDIBE. São Carlos-SP, 2008.
7. FREITAS, D.G. de. Efeitos da recirculação de água de lavagem de filtros em um sistema de filtração direta em escala de bancada. Dissertação de mestrado. Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal-RN, 2017.
8. LOPES, J.W.B, ARAÚJO NETO, J.R. de, PINHEIRO, E.A.R. Produção de sedimentos e assoreamento em reservatório no semiárido: o caso do açude Marengo, Ceará. Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ, n. 24, Jataí-GO, 2015.
9. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Parecer Técnico - Ref.: Ofício 1139/2008 (CAO-MA) - Informações técnicas referentes aos danos ambientais decorrentes do lançamento de lodo in natura, pelas Estações de Tratamento de Água, no ambiente. Procuradoria Geral de Justiça, 32 p. Belo Horizonte, 2009.
10. MORITA, D. M.; SAMPAIO, A. O.; MIKI, M. K.; DAVID, A. C. Incorporação de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos. Revista SANEAS, v. 14, p. 7-12. São Paulo-SP, 2002.
11. NG, M.C. Produção de água em ETA com alteração da carreira de filtração. Dissertação de mestrado. Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2017.
12. 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, v.20, p. 1300-1305, 2008. doi:10.1016/S1001-0742(08)62225-1.
13. RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Livro. 1 ed. 102 p. Editora Blucher. São Paulo-SP, 2001.
14. SILVA, M.S.G. da. Adequação das condições operacionais de uma ETA “convencional” que trata água com cor e turbidez baixas. Dissertação de mestrado. Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal-RN, 2016.
15. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Filter Backwash Recycling Rule: Technical Guidance Manual, 2002.
16. WALSH, M.E., LAKE, C.B., GAGNON, G.A. Strategic pathways for the sustainable management of water treatment plant residuals. Journal of Environmental Engineering and Science, v.7, p. 45-52. 2008. doi:10.1139/s07-034.