

ESTUDO DOS RESÍDUOS GERADOS NA ETA DE ANÁPOLIS-GO: CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

RUBIA DE PINA LUCHETTI CAMARGO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. ORLENE SILVA DA COSTA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Área de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

Anápolis
Goiás
2011

**ESTUDO DOS RESÍDUOS GERADOS NA ETA DE ANÁPOLIS-GO:
CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO**

Por
Rubia de Pina Luchetti Camargo

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Apresentada em 28/02/2011

Prof.^a. Dr.^a. Orlene Silva da Costa
Orientador
UnUCET – UEG

Prof. Dr. Sérgio Botelho de Oliveira
Departamento de Química – IFT Goiás

Prof. Dr. Delvio Sandri
UnUCET – UEG

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Adimir e Cinthya, que são o meu exemplo de vida e sempre confiaram no meu potencial; ao meu esposo Iran Junior e minha filha Maria Fernanda, por estarem presentes em todos os momentos da minha vida, me apoiando e abrindo mão de momentos especiais em família para que eu atingisse meu objetivo; além de saber entender os momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, por me dar muito mais do que eu mereço, pelas oportunidades de atingir meus objetivos e força para superar os obstáculos e a Nossa Senhora que me guiou e me cobriu com seu Manto Sagrado para conseguir concluir o Mestrado.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Orlene Costa, por todo empenho, sabedoria, compreensão e, acima de tudo, exigência. Gostaria de ratificar a sua competência, participação com discussões, correções, revisões de lâminas, sugestões e conhecimento que foram o diferencial para que concluíssemos este trabalho.

A minha Vó Terezinha, meu irmão Raphael e todos os outros familiares que sempre me deram amor e força, valorizando meus potenciais.

Ao meu colega Ítalo Lacerda, que foi meu principal colaborador, a quem devo grande parte dos resultados, que esteve presente em todas as coletas e análises.

Aos funcionários da ETA de Anápolis, principalmente ao Rogério Moura de Queiroz, Gerente Regional, ao Ubirani (Bira) e a colega Patrícia Freitas Góis, pelo auxílio e disponibilidade que permitiram as coletas e a realização deste estudo.

Aos Profs. Drs. Itamar Teixeira (coordenador do PME A), Delvio Sandri, Sebastião A. Neto, Sueli Freitas, AnaMaria Ferreira e Jonas Vieira, pelos ensinamentos, amizade e incentivo.

Aos funcionários do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás (IQ/UFG), Renato Cândido da Silva e Gustavo Amorim Santos, pela realização das análises de metais.

As colegas, Ananda, Carla e Janaína e a assistente administrativa Eliete e todos os outros que estiveram comigo, me auxiliando nas análises ou simplesmente com uma palavra amiga.

Ao Grupo de Pesquisa e Pós-Graduação do PME A e a CAPES pelo apoio e financiamento concedidos.

Ao Frederico Ribeiro, da UFOP, que auxiliou nas dúvidas e com material bibliográfico.

A Viviane Abrahão, Joana Darc Borges e Adriana Sousa pelo incentivo, confiança e compreensão para que eu pudesse concluir o mestrado.

A Geralda, Cristina e Lurdinha que cuidaram da minha filha e da minha casa durante meus estudos.

A todos os amigos e amigas que entenderam o distanciamento, a não presença em suas vidas, me dando apoio em momentos que achei que não fosse conseguir.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução dessa Dissertação de Mestrado.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS.	viii
LISTA DE FIGURAS.	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.	xi
RESUMO.	xii
ABSTRACT.	xiii
1. INTRODUÇÃO.	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	3
2.1. Escassez de recursos hídricos.	3
2.2. Tratamento de água para abastecimento.	4
2.3. Estação de tratamento de água (ETA).	5
2.3.1. Sistema de tratamento e abastecimento de água de Anápolis.	6
2.3.2. Processos do tratamento.	8
2.3.2.1. <i>Tecnologias de tratamento e suas operações e processos geradores de resíduos.</i>	8
2.4. Resíduos gerados nas ETA.	11
2.4.1. Problemática dos resíduos gerados nas ETA no Brasil.	13
2.4.2. Impactos ambientais e toxicidade dos resíduos.	15
2.4.3. Quantidade e características dos resíduos.	15
2.4.4. Fórmulas empíricas para quantificar o lodo gerado.	19
2.4.5. Manejo e disposição do lodo de uma ETA.	20
2.4.6. O Impacto ambiental provocado pelo despejo de decantadores.	22
2.4.7. Tipos de tratamento de resíduos de lodo de ETA.	23
2.4.8. Recirculação da água de lavagem de filtro.	23
2.4.9. Métodos de redução de lodos gerados em ETA.	25
2.4.9.1. <i>Otimização das dosagens dos coaguladores.</i>	25
2.4.9.2. <i>Utilização do by-pass para filtração direta.</i>	26
2.4.10. Alternativas de tratamento e disposição.	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.	28
3.1. Delimitação da Área de Estudo.	28
3.2. Coleta das amostras.	37

3.2.1. Frequência e Condições de Amostragem.	38
3.2.2. Amostragem de Água Bruta do Ribeirão Piancó.	39
3.2.3. Amostragem de Lodo do Decantador.	40
3.2.4. Amostragem de Água de Lavagem de Filtro.	41
3.3. Análises de Caracterização das Amostras.	42
3.3.1. Avaliação dos dados de caracterização das amostras.	42
3.4. Quantificação das Amostras.	45
3.4.1. Quantificação do lodo do decantador.	45
3.4.2. Quantificação da água de lavagem do filtro.	46
3.4.3. Avaliação dos dados de quantificação das amostras.	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	47
4.1. Caracterização da água bruta do Ribeirão Piancó.	47
4.2. Caracterização dos resíduos da ETA de Anápolis.	49
4.2.1. Caracterização do lodo do decantador da ETA de Anápolis.	49
4.2.2. Caracterização da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	54
4.3. Avaliação conjunta das características dos resíduos da ETA Anápolis.	59
4.4. Quantificação dos resíduos da ETA Anápolis.	62
4.4.1. Quantificação do lodo por equações empíricas.	62
4.4.2. Quantificação dos resíduos gerados em relação ao volume de água tratada.	64
5. CONCLUSÕES.	65
6. RECOMENDAÇÕES.	66
7. REFERÊNCIAS.	67
ANEXOS.	71

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
TABELA 1 – Operações e processos geradores de resíduos em ETA.	09
TABELA 2 – Características de água de lavagens de filtros de ETA.	17
TABELA 3 – Prováveis resíduos gerados em um tratamento de água.	18
TABELA 4 – Características dos lodos gerados em ETA.	19
TABELA 5 – Fórmulas empíricas para quantificação do lodo gerado em ETA.	20
TABELA 6 – Tipos de Tratamento de resíduos e suas principais características.	23
TABELA 7 – Tipos de disposição de lodo das ETA.	27
TABELA 8 – Localização da captação de água do Ribeirão Piancó e ETA de Anápolis. . .	30
TABELA 9 – Datas, horários e nomenclaturas das amostragens compostas de água bruta, lodo de decantador e água de lavagem do filtro.	39
TABELA 10 – Parâmetros, métodos, equipamentos e locais de análises para caracterização dos resíduos.	44
TABELA 11 – Caracterização físico-química e bacteriológica da água bruta do Ribeirão Piancó, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011.	47
TABELA 12 – Comparação dos parâmetros da água bruta com os exigidos pela legislação	48
TABELA 13 – Caracterização físico-química e bacteriológica do lodo do decantador, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011.	50
TABELA 14 – Comparação dos parâmetros do lodo do decantador com os padrões exigidos pela legislação para lançamento de efluentes.	50
TABELA 15 – Comparação dos valores dos parâmetros do lodo do decantador na ETA – Anápolis com outros estudos.	51
TABELA 16 – Caracterização físico-química e bacteriológica da água de lavagem do filtro, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011.	55
TABELA 17 – Comparação da média de alguns parâmetros da água de lavagem da ETA de Anápolis com os parâmetros água de classe 2.	58
TABELA 18 – Quantificação volumétrica da água de lavagem e do lodo do decantador em função do volume de água tratada na ETA de Anápolis.	64
TABELA 19 – Produção da massa de lodo segundo Kawamura.	71
TABELA 20 – Produção da massa de lodo segundo Cornwell.	71
TABELA 21 – Produção da massa de lodo segundo WRC.	71
TABELA 22 – Produção da massa de lodo segundo AWWA.	72
TABELA 23 – Produção da massa de lodo segundo Richter.	72
TABELA 24 - Massa de lodo dos decantadores (fórmulas e média).	72
TABELA 25 – Volume teórico de lodo produzido no decantador.	72

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1 – Vista superior da ETA mostrando seus dois módulos.	7
FIGURA 2 – Unidade de tratamento e pontos de geração de resíduos.	22
FIGURA 3 – Localização do ponto de captação de água bruta no Ribeirão Piancó e a ETA de Anápolis.	28
FIGURA 4 – Sistema de captação de água bruta do Ribeirão Piancó.	29
FIGURA 5 – Barragem do Ribeirão Piancó.	30
FIGURA 6 – Estação de tratamento de água de Anápolis.	31
FIGURA 7 – Fluxograma do tratamento da água bruta do Ribeirão Piancó realizado na ETA de Anápolis.	32
FIGURA 8 – Chegada da água bruta e dosagem da cal hidratada para correção do pH. . .	33
FIGURA 9 – Calha Parshall utilizada como misturador rápido, onde ocorre a adição do coagulante.	33
FIGURA 10 – Série de flocculadores com impulsores rotativos de eixo vertical.	34
FIGURA 11 – Descarga do lodo de um decantador na canaleta lateral na ETA de Anápolis.	35
FIGURA 12 – Início da lavagem de um filtro na ETA de Anápolis.	36
FIGURA 13 – Localização dos pontos de amostragem de lodo do decantador e água de lavagem do filtro.	37
FIGURA 14 – Precipitação média nos anos de 2006 a 2010 em Anápolis, Goiás.	38
FIGURA 15 – Amostragem da água bruta na câmara de recepção antes da dosagem da cal hidratada.	40
FIGURA 16 – Amostragem composta de lodo via descarga de fundo do decantador. (a) Coleta de lodo na canaleta lateral dos decantadores. (b) Formação da amostra composta de lodo em tambor de polietileno.	41
FIGURA 17 – Amostragem da água de lavagem do filtro. (a) Coleta de água de lavagem de filtro. (b) Formação da amostra composta de água de lavagem.	42
FIGURA 18 – Variação temporal da cor e turbidez nas coletas da água bruta.	48
FIGURA 19 – Variação dos sólidos totais(ST), sólidos suspensos (SS) e sólidos dissolvidos totais (SDT) nas coletas da água bruta.	49
FIGURA 20 – Variação temporal da sedimentabilidade do lodo da ETA de Anápolis. . .	52
FIGURA 21 – Variação temporal dos índices de sedimentabilidade do lodo da ETA de Anápolis.	52
FIGURA 22 – Variação temporal do índice volumétrico do lodo (IVL) da ETA de Anápolis.	53
FIGURA 23 – Variação temporal do índice de densidade do lodo (IDL) da ETA de Anápolis.	54
FIGURA 24 – Variação temporal da turbidez da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	56
FIGURA 25 – Variação temporal da série de sólidos da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	57

FIGURA 26 – Variação temporal dos metais (alumínio, ferro e manganês) da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	58
FIGURA 27 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de DQO na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	59
FIGURA 28 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de alumínio na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	60
FIGURA 29 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de ferro na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	60
FIGURA 30 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de sólidos totais na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.	61
FIGURA 31 – Variação temporal do IS do lodo e os sólidos dissolvidos totais da água de lavagem.	62
FIGURA 32 – Massa de lodo produzida de ago/2010 a jan/2011, segundo as fórmulas racionais apresentadas por: (a) Kawamura, (b) Cornwell, (c) WRC, (d) AWWA e (e) Richter.	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DQO	Demanda química de oxigênio
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
IDL	Índice de densidade do lodo
IVL	Índice volumétrico do lodo
METAGO	Metais de Goiás
NR	Não registrado
PGR	Plano de gerenciamento de resíduos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SECTEC	Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás
SS	Sólidos suspensos
ST	Sólidos totais
UEG	Universidade Estadual de Goiás
UnUCET	Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas
WRC	<i>Water Research Center</i>

RESUMO

As Estações de Tratamento de Água (ETA), também consideradas indústrias de transformação, geram resíduos como o lodo dos decantadores e a água de lavagem dos filtros, que precisam necessitar tratamento e disposição correta a fim de evitar qualquer tipo de contaminação ou de geração de impactos negativos ao meio ambiente. A Estação de Tratamento de Água de Anápolis não possui nenhuma informação sobre seus resíduos, sendo necessário um estudo para formação de um banco de dados para possibilitar futuros estudos de tratamento, disposição ou utilização desses resíduos, como forma de minimizar os impactos na geração pelos resíduos de ETA, melhorando a sustentabilidade do sistema. Esse trabalho teve o objetivo de estudar a caracterização física, química e bacteriológica e de quantificação dos resíduos gerados na ETA de Anápolis, que é de ciclo completo e realiza descargas diárias de seus resíduos. A caracterização e a quantificação dos resíduos foram realizadas por meio de seis coletas do lodo dos decantadores e da água de lavagem dos filtros, entre os meses de agosto de 2010 a janeiro de 2011. As amostras de lodo foram obtidas na descarga do lodo em uma canaleta lateral aos decantadores, e a água de lavagem foi coletada no próprio filtro, durante a lavagem, sendo formadas sempre amostras compostas. A água bruta de captação do Ribeirão Piancó, também foi analisada durante o mesmo período, para analisar e comparar com os resultados obtidos das análises dos resíduos. Analisou-se para caracterização: cor aparente, turbidez, pH, alcalinidade, condutividade, temperatura, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, acidez total, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos totais, metais (alumínio, ferro e manganês), coliformes totais e *Escherichia coli*. A quantificação do lodo foi realizada utilizando-se as fórmulas empíricas sugeridas por Kawamura, Cornwell, Richter, AWWA e WRC, e a água de lavagem do filtro foi quantificada por um medidor de vazão ultrassônico na própria ETA. A caracterização dos resíduos demonstrou que o lodo não pode ser disposto em corpo d'água sem receber tratamento adequado por possuir alta concentração de metais (alumínio e ferro) e grande quantidade de sólidos sedimentáveis, acima do permitido pela Resolução Conama nº 357/2005. A vazão (890 L.s^{-1}) da ETA está acima da projetada (máx. 800 L.s^{-1}), reduzindo sua eficiência, sobrecarregando os filtros, necessitando um aumento na frequência de limpeza dos mesmos, gerando em média uma perda de 1200 m^3 de água potável diariamente. A água de lavagem do filtro pode ser reutilizada na própria ETA, retornando para o início do processo de tratamento se a mesma tiver as características da água de captação (Classe 2). O estudo demonstrou que alguns parâmetros estão acima do aceitável como: turbidez (média de 113 uT) e a quantidade de metais presente (média alumínio $12,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e ferro $14,9 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo necessário um estudo para otimização do processo, que garanta que estas características estejam dentro do padrão permitido. As análises da água bruta demonstraram em alguns parâmetros como a série de sólidos, a tendência de crescimento do período de seca para chuva, podendo sobrecarregar o sistema afetando a eficiência do processo. O índice de sedimentabilidade do lodo (ISL) está diretamente relacionado aos sólidos dissolvidos totais (SDT) da água de lavagem dos filtros, pois a alta velocidade de decantação reduz a passagem de SDT para os filtros.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, decantadores, água de lavagem e filtros.

ABSTRACT

The Water Treatment Plant (WTP), also considered processing industries, generate waste like the sludge from the clarifiers and backwash water from filters, which need proper treatment and disposal in order to avoid any contamination or generation of negative impacts on the environment. The Anápolis Water Treatment Plant has no information on their waste, being necessary a study to form a database to allow future studies of treatment, or use of these wastes to minimize impacts on waste generation by WTP, improving the sustainability of the system. This work aimed to study the physical, chemical and bacteriological and quantification of waste generated at the Anápolis WTP, which has a full cycle and performs a daily discharge of its waste. The characterization and quantification of waste was conducted by means of six samples of sludge from clarifiers and filter backwash water, between the months of August 2010 to January 2011. The sludge samples were obtained in the sludge discharge in a lateral channel next to the decanters, and backwash water was collected on the filter itself during washing, always forming composite samples. The catchment of raw water from Piancó Creek (Ribeirão Piancó) was also analyzed during the same period, to analyze and compare the results of waste analysis. For characterization, the following were analyzed: apparent color, turbidity, pH, alkalinity, conductivity, temperature, chemical oxygen demand, dissolved oxygen, acidity, total solids, suspended solids, total dissolved solids, metals (aluminum, iron and manganese), total coliform and *Escherichia coli*. Quantification of sludge was performed using the empirical formulas suggested by Kawamura, Cornwell, Richter, AWWA and WRC, and the filter backwash water was quantified by an ultrasonic flow meter in the WTP itself. The waste characterization showed that the sludge cannot be put into a water body without receiving adequate treatment because of its high concentration of metals (aluminum and iron) and large amount of settleable solids, above those permitted by CONAMA Resolution N°. 357/2005. The WTP flow (890 L.s^{-1}) is above the projected (max. 800 L.s^{-1}), reducing its efficiency, overloading the filters, requiring an increase in the frequency of cleaning them, generating a daily average loss of 1200 m^3 of drinking water. The filter backwash water can be reused in the WTP itself, returning to the beginning of the treatment process if it has the characteristics of the water catchment (Class 2). The study showed that some parameters are above acceptable, for example: turbidity (average 113 NTU) and the amount of metals present (average 12.5 mg.L^{-1} aluminum and iron 14.9 mg.L^{-1}), requiring a study to optimize the process, ensuring that these characteristics are within the permitted standard. The analysis of the raw water showed in some parameters such as the solid series, the growth tendency of drought to rain, which can overload the system affecting the efficiency of the process. The rate of sludge settling (RSS) is directly related to the total dissolved solids (TDS) of the filter water washing because the high rate of sedimentation reduces the passage of TDS to the filters.

KEY WORDS: Sludge, clarifiers, backwash water and filters.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico levaram a um acréscimo no consumo de bens e serviços e na geração de resíduos, que na sua maioria não recebem tratamento ou disposição adequados. Estes resíduos gerados se não tratados adequadamente, serão na sua maioria depositados nos corpos d'água receptores. Por conseguinte, o acúmulo dos resíduos inibirá o processo natural de autodepuração desses cursos de água, que ficarão contaminados, restringindo assim sua utilização para consumo ou dificultando seu tratamento para transformá-la em água com padrão de potabilidade, intensificando o problema de escassez dos recursos hídricos.

Segundo Santos e Souza (2001), a limitação dos recursos hídricos tem-se tornado cada dia mais intensa por alguns motivos: variações extremas do clima, crescimento populacional, e principalmente, por intervenção humana no meio ambiente, que afeta a qualidade da água e a capacidade natural de autodepuração dos corpos d'água. Devido à necessidade de manutenção dos recursos hídricos para consumo, estudos estão sendo realizados para minimizar estes impactos, e evitar a temida escassez de água, podendo então atender a necessidade de água para consumo.

As administrações públicas dos centros urbanos estão visando cada dia mais a qualidade da água, mas em contrapartida, a quantidade de água disponível está menor, em função do descuido dos próprios sistemas de abastecimento e gestoras municipais que não se preocupam com a degradação do meio ambiente. Hoje, tem-se observado projetos de reestruturação ambiental e de educação ambiental, que visam promover a conservação do meio físico e biótico do ser humano, mas que ainda não atingiu todas as cidades, sendo que, ainda se espera a dificuldade em obter, ou melhor, captar a quantidade e a qualidade de água ideal para se iniciar um trabalho de conscientização.

No Brasil as preocupações com o saneamento básico são muitas, existindo várias legislações que discorrem sobre como devem ser as ações de saneamento, como a Lei de saneamento básico nº 11.455 de 2007 que discorre sobre a importância de se conhecer, tratar e dispor de maneira correta os resíduos gerados no saneamento, como os gerados nas estações de tratamento de esgoto (ETE) e de água (ETA). Muito se conhece sobre os resíduos gerados nas ETEs, pelo seu volume e impacto no meio ambiente e na saúde da população; e pouco se tem conhecimento, tanto pela população quanto por administradores em relação aos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água (ETA).

A maioria das ETA implantadas no Brasil tem como principal enfoque a qualidade da água por meio da sequência de suas operações e processos, esquecendo-se de que seus resíduos gerados durante este tratamento também deve ter seu destino final controlado e adequado (RIBEIRO, 2007).

Dentro deste contexto, justifica-se caracterizar e quantificar os resíduos da ETA de Anápolis, uma vez que, ainda não existem informações a respeito desses resíduos. Estes estudos contribuirão com a formação de um banco de dados sobre as características dos resíduos e as suas quantidades geradas na ETA. Por sua vez, este banco de dados servirá de base à implementação de um futuro Programa de Gerenciamento de Resíduos (PGR) da estação.

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo de caracterização física, química e bacteriológica e de quantificação dos resíduos gerados na ETA de Anápolis a fim de possibilitar futuros estudos para o tratamento, a disposição adequada ou a utilização desses resíduos, como forma de minimizar os impactos na geração pelos resíduos de ETA, melhorando a sustentabilidade do sistema; além de avaliar os aspectos de qualidade e quantidade dos resíduos gerados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Escassez de recursos hídricos

A Água, considerada um bem de consumo, já está em escassez em várias partes do mundo. Além deste grande problema, a sua qualidade também vem gerando grandes discussões, pois como este recurso não é sempre encontrado em abundância, ainda é obtido em vários locais com presença de microrganismos e elementos químicos, que impossibilitam o seu consumo humano (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

No Brasil, cerca de 60% das internações hospitalares estão relacionadas ao consumo de água não tratada ou com um tratamento ineficiente, conforme Di Bernardo (2003), e dentre estas internações, 90% correspondem a problemas ocasionados por quantidade ou qualidade insatisfatória, que não satisfazem o padrão de potabilidade para o consumo humano.

Segundo Ribeiro (2007), alguns países da Região do mar Mediterrâneo, com regiões áridas e semi-áridas já vem sofrendo com a escassez de água e para tentar solucionar o problema, já estão utilizando água residuária, como por exemplo, na irrigação. No Brasil muitos estudos estão sendo realizados para aproveitamento de água residuária, pois a Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, já vem sofrendo com problemas de abastecimento de água, sendo necessárias novas tecnologias e estudos para minimizar o problema.

Estima-se que cerca de 42 mil pessoas morrem por semana no mundo, devido à qualidade insatisfatória de água, conforme SAMPAIO (2008).

A água das fontes de abastecimento brasileira está perdendo a qualidade por não ter o saneamento básico necessário, dificultando o tratamento para o consumo humano. (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008)

Até meados do século XX, a qualidade da água era conferida apenas pelas suas características organolépticas, límpida, inodor e agradável ao paladar. Com a necessidade de uma saúde pública mais eficaz, e as descobertas dos riscos e perigos que uma água contaminada pode causar, houve a necessidade de se buscar novas estratégias para o controle de qualidade da água, melhorando o nível de vida da população, logo, apenas algumas normas foram determinadas para se controlar: os riscos microbiológicos, físico, químico e radiológico (VIEIRA, 2004 citado em DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

O risco físico está representado pelos contaminantes que alteram a preferência do uso da água, e não gera perigo a saúde humana. Alguns parâmetros são utilizados como cor verdadeira, turbidez, ferro, cloretos. Gosto e dureza.

O risco microbiológico está representado pela presença de bactérias, vírus e protozoários, o que acarreta efeitos nos indivíduos que consumirem esta água. A Organização Mundial de Saúde – OMS (1997), prioriza este risco como sendo de grande impacto a saúde pública. A maioria dos micro-organismos presentes na água vem da fonte de abastecimento, sendo reduzidos ou inativados com adequadas técnicas de filtração e de desinfecção na estação de tratamento.

Os microrganismos de origem fecal são determinantes para a qualidade da água, que surgem de uma origem indevida e que contamina a fonte. A legislação brasileira também utiliza as bactérias fecais como determinantes da eficiência das estações de tratamento de água.

O risco químico associa-se a presença de metais pesados, diversas substâncias orgânicas e inorgânicas, agrotóxicos, ciano toxinas e outros. Dependendo da toxicidade pode gerar graves riscos a saúde pública, principalmente se houver um longo período de exposição a estes compostos.

O risco radiológico é de baixa incidência na água de consumo, mas devido a sua utilização nas atividades humanas, pode gerar efeito agudo e grave no ser humano. Mas de acordo com a OMS (2004), efeitos adversos não têm sido detectados na população.

Para que esses riscos não estejam presentes quando consumimos a água, as estações de tratamento, que são indústrias de transformação, tem este objetivo, de retirar qualquer possibilidade de contaminação.

2.2. Tratamento de água para abastecimento

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a partir da Resolução nº 357, de março de 2005, classifica as águas do Brasil em doces, salobras e salinas. As águas doces foram subdivididas nas classes I, II, III e IV, determinando os seguintes tipos de tratamento necessários para o abastecimento doméstico:

Classe especial – sem prévio tratamento ou com simples desinfecção;

Classe 1 – após tratamento simplificado;

Classe 2 – após tratamento convencional;

Classe 3 – após tratamento convencional com tratamento adicionais.

Essa classificação está relacionada à qualidade de água captada e conforme Azevedo Netto (1987), as análises e exames das águas coletadas nos mananciais, revela a necessidade ou não de qualquer tipo de tratamento, sendo que estas análises deverão ser realizadas por períodos pré-determinados, considerando o histórico de sazonalidade climática (chuva/seca) e consequentemente a vazão.

O Ministério da Saúde determina que, para a água ser potável e adequada ao consumo humano, suas características físicas, químicas, biológicas e microbiológicas devem seguir um padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Esta normativa estabelece os limites máximos permitidos para dezenas de parâmetros que precisam ser respeitados, levando a necessidade da água captada passar por uma série de operações e processos em uma estação de tratamento (BERNARDO et al., 2002).

Segundo Azevedo Netto (1987), o tratamento da água pode ser feito para atender a várias finalidades:

Higiênicas: para remoção de bactérias, vírus, protozoários e outros microrganismos, de substâncias tóxicas e para redução do excesso de impurezas e de teores elevados de compostos orgânicos.

Estéticas: correção de cor, odor e sabor.

Econômicas: redução de corrosividade, dureza, turbidez, cor, odor, etc.

Após o tratamento, a água passa por análises laboratoriais, a fim de verificar o atendimento aos padrões de potabilidade e assim, garantir a distribuição de um produto de qualidade.

2.3. Estação de tratamento de água (ETA)

As ETA foram desenvolvidas para remover os riscos presentes nas águas de captação, deixando-as apropriadas para o uso doméstico. Elas são um conjunto de operações e processos, que são determinados a partir de estudo realizado sobre a qualidade da água do manancial (BERNARDO e SABOGAL-PAZ, 2008a).

Segundo Julio (2006), a água de qualquer qualidade pode teoricamente ser transformada em potável, dependendo apenas de tecnologia, investimento e confiabilidade no processo. Os gastos e a confiabilidade deste projeto pode inviabilizar totalmente o uso deste manancial como fonte de abastecimento de água, por isso, é necessário considerar três aspectos: 1) Ambientais, 2) Populacionais e 3) Tecnológicos.

Em relação aos aspectos ambientais, deve-se considerar a disponibilidade de recursos hídricos (quantidade e qualidade) e recursos locais (energia, clima, área, etc.). Com base nos aspectos populacionais, diz respeito às pessoas que usufruem do ambiente, podendo resultar em impactos antrópicos negativos, tendo então que se utilizar de tecnologias para tornar a vida da comunidade melhor e aproveitar ao máximo o que o ambiente tem disponível, sem prejudicá-lo. As tecnologias de tratamento de água podem ser divididas em dois grupos, o que utiliza e o que não utiliza coagulação química (BERNARDO e SABOGAL-PAZ, 2008a; BERNARDO, 1993).

2.3.1. Sistema de tratamento e abastecimento de água de Anápolis

O Sistema de abastecimento de água de Anápolis (SAA) atende a uma população de aproximadamente 302.290 habitantes, referentes a janeiro de 2009, e a cobertura de abastecimento corresponde a 92,5% da população urbana. O Sistema de Produção do SAA Anápolis tem operado quase que ininterruptamente, em média, 23,7 h.dia⁻¹ (PREFEITURA DE ANÁPOLIS, 2010).

A capacidade do principal sistema de produção de água, o Ribeirão Piancó, denominado Sistema Piancó, é hoje da ordem de 800 L.s⁻¹. Além do Sistema Piancó, a produção de água para abastecimento público de Anápolis é complementada com os Sistemas de Poços Profundos e DAIA, sendo que, o sistema de poços profundos contribuem com 25 a 30 L.s⁻¹ e o sistema DAIA com até 130 L.s⁻¹, cuja captação é comprada pela concessionária de tratamento de água de Anápolis (SANEAGO, 2010).

O complexo de distribuição de água atualmente engloba 20 centros de reservação (CR's) de diversos portes, totalizando capacidade da ordem de 35 mil metros cúbicos. Alguns, como, CR's Santos Dumont e Lap são abastecidos através de poços, cinco são alimentados pelo Sistema DAIA (CR's Munir Calixto, São João, Calixtópolis, Vivian Park e Santo André), enquanto que os demais são abastecidos pelo Sistema Piancó (PREFEITURA DE ANÁPOLIS, 2010).

Já em tramite, um projeto de ampliação de capacidade de produção do sistema para a vazão de final de plano em torno de 1.200 L.s⁻¹, demanda prevista para o dia de maior consumo. Segundo a proposta deste projeto, todo o sistema de abastecimento de água existente receberá ampliações e reformas, objetivando especialmente a ampliação da área de abrangência do sistema e a regularização do abastecimento.

O atual Sistema de Abastecimento de Água de Anápolis é integrado por sistemas de produção e adução (Piancó, Poços e importação de água do Sistema DAIA), interligados ao sistema de distribuição, que é segmentado em alguns locais da periferia (sistemas independentes abastecidos por poços). A captação consta de uma barragem de nível, de um canal aberto, precedido de gradeamento com tela, e um desarenador constituído de dois módulos idênticos, paralelos, dotados de comportas tipo stop-log na entrada e de descarga de fundo. Após passar pelo desarenador, a água é conduzida ao poço de sucção da nova elevatória, o qual contém quatro compartimentos, dotados de descarga de fundo.

Nos períodos de estiagem o Ribeirão Piancó não tem disponibilidade hídrica suficiente para abastecer a cidade de Anápolis, sendo necessárias novas estruturas para complementar o abastecimento, sendo então desenvolvido um projeto complementar de captação no próprio córrego Piancó, mais a jusante, denominada Anicuns (ou Piancó II). A adutora de água bruta em operação, que liga a captação Piancó à ETA, possui 15.148 m de extensão, diâmetro de 800 mm, em tubulação de aço com espessuras de 5/16" e 1/4". A adutora do Piancó II possui extensão total de 5.780 m.

A ETA encontra-se praticamente dentro da área urbana, em localização no alto e dispõe de uma área ampla ao seu redor o que lhe dá possibilidade de ampliação de sua capacidade com novas unidades. Foi implantada em duas etapas com a capacidade de tratamento de 350 L.s⁻¹ cada uma. Contudo, a mesma é capaz de tratar a vazão de 800 L.s⁻¹ que é com o que se está trabalhando atualmente (Figura 1).

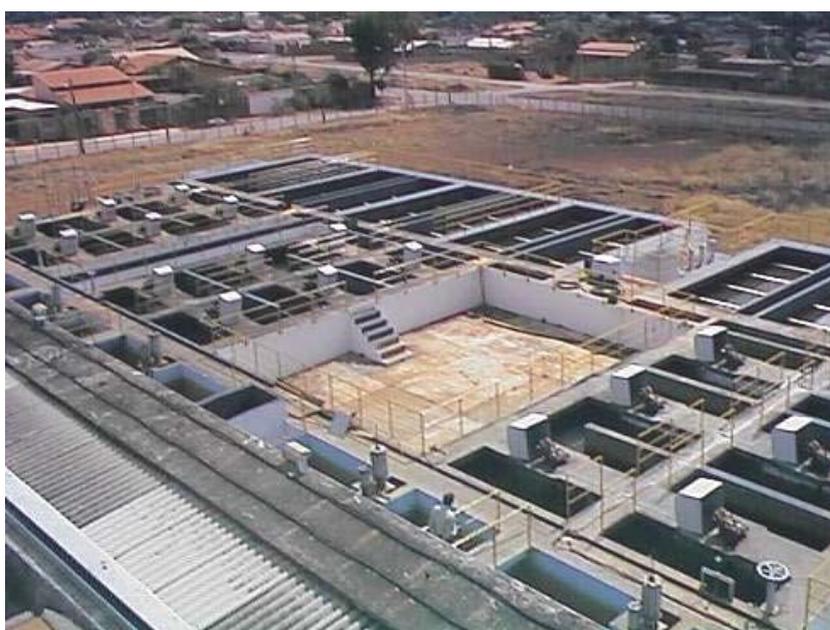


FIGURA 1 – Vista superior da ETA mostrando seus dois módulos
Fonte: Prefeitura de Anápolis (2010)

2.3.2. Processos do tratamento

Os processos de tratamento podem variar de acordo com a água captada, características físicas, químicas e microbiológicas, espaço para implantação da ETA e recursos financeiros para uso com tecnologias.

2.3.2.1. *Tecnologias de tratamento e suas operações e processos geradores de resíduos*

A tecnologia do ciclo completo (CC) é o mais utilizado nas ETA, sendo denominado tratamento convencional. No Brasil segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2002), mais de 70% do volume de água tratada e distribuída é decorrente do tratamento de ciclo completo. Abaixo estão descritos as características mais relevantes dos principais processos e operações de tratamento de água bruta, envolvidas na tecnologia de CC.

O sistema convencional realiza a remoção de partículas finas em suspensão e em solução presentes na água bruta. Logo, o processo se inicia com a coagulação da água bruta, geralmente com adição de um sal de alumínio ou de ferro, que desestabilizam as partículas coloidais ocorrendo formação de precipitado do metal do coagulante com as impurezas (flocos), que são removidos posteriormente. A coagulação ocorre na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica, mecanizada ou especial, variando de acordo com a vazão a ser tratada e de acordo com a variação da qualidade da água bruta e principalmente, das condições disponíveis para operação e manutenção. Em seguida, a água coagulada é submetida à agitação lenta durante o tempo necessário para que os flocos alcancem o tamanho e a massa específica, nos flotores (REALI, 1999).

A floculação pode ser realizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas, dependendo da variação de intensidade da agitação, os decantadores podem ser convencionais ou de alta taxa. No caso da flotação, o método por ar dissolvido (com pressurização da recirculação) é comumente empregado no sistema, sendo as microbolhas produzidas pela redução de pressão da água saturada com o ar (RIBEIRO, 2007).

A água clarificada produzida nos decantadores ou flotores é finalmente filtrada em unidades com escoamento descendente, contendo materiais granulares, geralmente, antracito e areia ou somente areia. A lavagem do meio filtrante é geralmente realizada com água ou ar e água, variando de acordo com a vazão de projeto, meio filtrante e da qualidade da operação e da manutenção (GUIMARÃES, 2007).

Grande parcela dos flocos fica retida no decantador e outra parcela na operação de filtração. Por meio destas operações e processos, a estação de tratamento de água produz água para abastecimento e gera resíduos: lodos acumulados nos decantadores e água de lavagem dos filtros. O filtro tem dispositivos capazes de promover a lavagem de areia, para que o processo de filtragem não seja prejudicado pela obstrução do leito filtrante, pois após certo tempo de utilização dos filtros ocorre seu entupimento. Esta lavagem ocorre pela introdução de água no sentido ascendente com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular com liberação das impurezas (REALI, 1999; BERNARDO e SABOGAL-PAZ, 2008a).

A Tabela 1 apresenta uma síntese geral das operações e dos processos de ETA que podem gerar resíduos, sendo que a maior parte dos resíduos produzidos é retirada nas operações de descarga de lodo dos decantadores e na lavagem dos filtros.

TABELA 1 – Operações e processos geradores de resíduos em ETA.

Operações / Processos	Descrição	Fonte
Coagulação	É a desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de substâncias húmicas em duas etapas: 1) Química, em que o coagulante reage com a água formando espécies hidrolisadas positivas e precipitadas do coagulante; 2) Física, no qual as moléculas hidrolisadas e os precipitados são carregados para encontrarem as partículas impuras que se encontram na água para formação de aglomerados maiores, que são removidos nas etapas seguintes. Os métodos de varredura e neutralização de cargas são os mecanismos de coagulação mais usados nas ETA. Durante a varredura o pH está elevado e há uma grande dosagem de coagulante, com grande quantidade de precipitados de coagulante (alumínio ou ferro), que causam enormes emaranhados entre coagulantes e impurezas, e é muito usado nas tecnologias de ciclo completo e flotofiltração. O mecanismo de neutralização de carga tem como objetivo neutralizar as moléculas carregadas positivamente e em pH mais baixo, muito utilizado em ETA de filtração direta.	ANDRIOLI, (2001)
Mistura rápida ou lenta	A mistura rápida é realizada para a coagulação e a mistura lenta é para ocorrer a floculação, com a agregação das partículas desestabilizadas para formar os flocos. A agitação pode ser realizada por dispositivos: mecânicos, hidráulicos ou especiais. O mais comum é o vertedor Parshall, onde a elevação brusca da água causa instabilidade, ondulações e entrada de ar gerando turbulência, o que promove a mistura rápida. Já os mecanismos especiais usam difusores, que são inseridos na secção transversal de escoamento de água, distribuindo o coagulante uniformemente.	REALI, (1999)
Floculação	Tem a função de formar aglomerados maiores, os flocos, para posterior remoção. Os mecanismos usados podem ser misturadores hidráulicos (chicanas, meio granular, Alabama e helicoidal) e os mecanizados (câmaras de mistura e variados tipos de agitadores). Tanto as unidades mecanizadas e as hidráulicas possuem câmaras ou canais, respectivamente, para que diminua o gradiente de velocidade do início do processo ao final, para que se obtenha a formação dos flocos, aglomerados.	OLIVEIRA, (1978)

TABELA 1 – Operações e processos geradores de resíduos em ETA (continuação).

Operações / Processos	Descrição	Fonte
Decantação	Remove os flocos, que se sedimentam, pela ação da gravidade, as partículas suspensas se movimentam de maneira descendente em um meio líquido de menor massa específica. A sedimentação dos flocos gera um líquido mais claro e límpido, sendo necessário determinar o tempo de escoamento deste líquido para que a fase líquida e a fase sólida realmente possam se separar. Os mecanismos podem ser convencionais, escoamento horizontal, vertical ascendente e de alta taxa.	BERNARDO e SABOGAL-PAZ, (2008a); JULIO, (2006)
Filtração	É a remoção de partículas que não foram removidas anteriormente, responsável pela produção de água de qualidade com padrão ideal de potabilidade. A filtração consiste em fazer a água passar por substâncias porosas capazes de reter e remover algumas de suas impurezas. O meio poroso mais usado são em geral camadas de areia ou camadas de areia e antracito, sustentadas por camadas de seixos e um sistema de drenos para retirar a água filtrada. Durante a filtração ocorrem os seguintes fenômenos: 1) Ação mecânica de coar; 2) Sedimentação de partículas sobre grãos de areia; 3) Floculação de partículas, que estava em formação, pelo aumento da possibilidade de contato entre elas; 4) Formação de partículas gelatinosas na areia, promovida por micro-organismos que aí se desenvolvem (filtro lento). A lavagem dos filtros é realizada quando a entrada de água é maior que a saída, promovendo o acúmulo de água no filtro (afogamento). Porém essas condições variam de acordo com o funcionamento da ETA, como a turbidez da água bruta e decantada. Se esta lavagem não for realizada ou demorar a ocorrer, a taxa de filtração irá diminuir até o ponto em não ocorrerá mais a filtração, deixando de realizar a principal função da filtração que é a de garantir que a água tratada esteja com padrão exigido. A lavagem ocorre de modo ascendente, e a areia, leito filtrante, é colocada em suspensão na água, sendo que a velocidade de ascensão da água deva ser suficiente para expandir esta areia. Usam-se grandes quantidades de água, que são descartadas.	DACACH, (1979); RIBEIRO, (2007)
Desinfecção	Feita logo após a filtração, que tem como objetivo principal eliminar patógenos da água, que não foram retirados em outras etapas garantindo assim, a inocuidade da água. O cloro constitui o mais importante dentre todos os elementos (ozônio, iodo e prata) utilizados na desinfecção da água. O cloro é encontrado nas formas: cloro líquido, cal clorada e hipocloritos. Pode ainda estar em estado sólido, líquido e gasoso.	RIBEIRO, (2007)
Correção do pH	Método preventivo da corrosão do encanamento. Consiste na alcalinização da água para remover o gás carbônico livre e para provocar a formação de uma película de carbonato na superfície interna das canalizações. Para tal, é necessário a adição de cal, elevando o pH da água ao ponto de saturação, obtendo um pH final de aproximadamente superior a 7.0 (ligeiramente alcalino), para ocorrer uma camada protetora de aproximadamente 1 mm, evitando incrustações	RIBEIRO, (2007)
Fluoretação	A adição de flúor se dá por determinação de lei, que exige que ocorra a adição de fluoreto de sódio, o fluossilicato de sódio ou ácido fluossilícico, para diminuir a incidência de cárie dental na população, especialmente no período de formação dos dentes, que vai do nascimento até os 15 anos de idade aproximadamente	RIBEIRO, (2007)

2.4. Resíduos gerados nas ETA

As ETA geram muitos benefícios à sociedade, mas podem ser consideradas como indústrias de transformação, pois possuem processos e operações unitárias, sendo a água a matéria prima que entra no processo industrial para ser transformada no produto final como água potável. Esta produção industrial gera resíduos que devem ser tratados, de acordo com os padrões de lançamentos estabelecidos na legislação ambiental, antes de serem dispostos no meio (GUIMARÃES, 2007).

O lançamento destes resíduos em corpos d'água tem como regulamento a Resolução CONAMA nº 357 (2005), e na Norma NBR 10004 (2004), que considera o lodo gerado como um resíduo sólido, sendo então, obrigatório o seu tratamento e sua disposição de acordo com as leis.

Os resíduos gerados nas diferentes etapas do processo podem ter características diferentes baseados na qualidade da água captada e nos produtos utilizados no tratamento. Estes resíduos são um problema grave para as ETA, tanto do ponto de vista quantitativo, quanto qualitativo, por conter diversos produtos químicos, como coagulantes e desinfetantes e por retirar as impurezas da água bruta são bastante poluentes, podendo conter matéria orgânica e inorgânica em diferentes quantidades, mas tendo na sua maioria uma quantidade maior de material inorgânico, como areia, argila e siltes, e como material orgânico, substâncias húmicas, que conferem cor a água, microrganismos como bactérias, vírus e plâncton. Outros metais pesados podem fazer parte dos sedimentos em água fluviais devido a poluentes arrastados pelo deflúvio superficial urbano ou mesmo por despejo de efluentes industriais aos mananciais que alimentam as estações de tratamento (GUIMARÃES, 2007).

Os resíduos gerados nas ETA, considerados mais significativos, são provenientes da água de lavagem dos filtros e das descargas dos decantadores, que são lodos. Segundo Grandin (1992), os lodos gerados pelos floculadores e tanques de preparo de soluções e suspensões geram resíduos em volumes não significativos.

Os resíduos têm sido dispostos nos cursos d'água, sem nenhum tratamento, podendo levar a uma contaminação dos mesmos, com o aumento da concentração de metais tóxicos, além de limitar a concentração de carbono disponível para a alimentação de macro invertebrado e a alta concentração de sólidos suspensos altera a cor e turbidez da água, fazendo-se então necessário um prévio estudo dos resíduos gerados, do corpo receptor e dos possíveis tratamentos e utilização (BERNARDO e SABOGAL-PAZ, 2008b).

No Brasil, o lançamento de efluentes é regulado pela resolução do CONAMA nº 357 (2005) e os resíduos gerados nos decantadores são classificados como “resíduos sólidos” pela NBR-10004 e 10005, sendo então, necessário o seu tratamento e sua disposição, não podendo então ser lançado nos corpos d’água sem o devido tratamento. Se os resíduos forem lançados em corpos d’água de maneira indiscriminada estará sujeita ao regime de outorga podendo receber ou não sua autorização conforme a Lei nº 9433 (1997).

Alguns estudos foram realizados e citados por Bernardo e Sabogal-Paz (2008b), como Barbosa et al. (1999), que afirmam que a disposição dos resíduos em corpos d’água sem nenhum tratamento altera a biota aquática, e até mesmo a capacidade de autodepuração que os corpos d’água conseguem realizar, sendo preocupante, pois existiam no Brasil, até 2008, cerca de 7500 ETA de ciclo completo ou não e de tamanhos diferentes que estão depositando o seu resíduo nos corpos d’água diretamente, sem tratamento levando a: i) aspectos visuais e odores desagradáveis dos corpos d’água, ii) contaminação deste corpos d’água a jusante, que são utilizados para abastecimento de outras comunidades ou para irrigação.

Outro estudo foi o de Cordeiro e Campos (1999), que monitoraram cerca de mil metros de curso d’água após o lançamento de descarte da limpeza dos decantadores (lodo dos decantadores), comparando-se com as características do ponto de lançamento. Foi verificado um aumento da DQO (Demanda Química de Oxigênio) de 16 mg.L⁻¹ antes do lançamento, para valores superiores a 2.000 mg.L⁻¹. A concentração de sólidos sedimentáveis à montante passou de 0,4 mL.L⁻¹, para valores acima de 400 mL.L⁻¹, em alguns pontos.

Dessa forma, o conhecimento das ações da disposição de lodos de decantadores de ETA mostra que, em alguns casos, esse material pode trazer grandes prejuízos ao meio ambiente, fazendo-se necessário maior cuidado com a disposição dos mesmos.

Considerando a carência de água em muitas regiões do Brasil e os impactos dos resíduos nos corpos d’água, com possível comprometimento da qualidade de potenciais fontes de abastecimento, torna-se fundamental o tratamento desses resíduos e a disposição adequada dos sólidos produzidos (DI BERNADO e SABOGAL-PAZ, 2008b).

Conforme APHA (1999), os resíduos de estações de tratamento de água (RETA) podem ser divididos em quatro categorias:

- 1) Lodo: gerado na descarga dos decantadores, removidos em flotores, na lavagem dos filtros, no abrandamento e na remoção de ferro e manganês da água bruta.
- 2) Concentrado salino: resultante do tratamento de água por técnicas de membrana, osmose reversa, eletrodialise e troca iônica.
- 3) Carvão ativado e resina: gerados por trocas iônicas desgastadas e material filtrante.

4) Emissões gasosas: geradas por unidades de controle de odor ou de técnicas de *air stripping*.

A quantidade e a qualidade dos resíduos gerados dependem da qualidade da água bruta captada, dos processos e operações utilizados para o tratamento, os produtos químicos utilizados, métodos de limpeza de decantadores e filtros, sua frequência e outros. A caracterização dos resíduos pode ser realizada conforme sua importância e objetivo do estudo (CORDEIRO, 2002):

- 1) Aspectos ambientais associados à disposição dos resíduos: pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, pesticidas, fertilizantes e compostos orgânicos voláteis;
- 2) Aspectos geotécnicos relacionados à remoção de água e a futuras utilizações dos sólidos dos resíduos: tamanho e distribuição de partículas, limite de plasticidade e de liquidez, resistência específica, respostas no aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade.

Para se obter a quantidade e qualidade dos resíduos gerados, sugere-se que sejam realizados monitoramentos em unidades de tratamento por um período de três a cinco anos nas diferentes estações climáticas; se não for possível, pode-se realizar o levantamento de cada unidade (decantadores, filtros) e relacionar a quantidade de sólidos suspensos totais (SST) retidos por meio de um balanço de massa e comparar com equações empíricas que consideram alguns parâmetros de qualidade da água bruta e dosagem de produtos químicos. Para estudos de tratabilidade (decantação, flotação e filtração), é desejável que se utilize amostras de água coletadas em diferentes épocas do ano, sendo medidos o volume do lodo e a quantidade de sólidos sedimentados e aqueles gerados no filtro. Se não for possível, pode-se estimar a quantidade total de sólidos com o uso de equações empíricas adotando a fração total de sólidos solúveis totais retidos em cada unidade da ETA (CORDEIRO e CAMPOS, 1999).

2.4.1. Problemática dos resíduos gerados nas ETA no Brasil

Apenas em meados dos anos 70 iniciaram-se as pesquisas sobre os resíduos das ETA, sendo o primeiro trabalho apresentado por Almeida (1975) no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, mas apenas em 1977 o mesmo congresso apresentou um levantamento inicial sobre o tema, levando em consideração o que o mundo já debatia e conhecia (BASTOS et al., 2005).

Na década de 80 os estudos se aprimoraram, tendo a primeira dissertação de mestrado no assunto com caracterização, remoção de água do lodo e utilização do mesmo, realizada por Cordeiro (1993). O primeiro estado brasileiro a se preocupar com os resíduos gerados pela sua

estação de tratamento de água foi o de São Paulo, em que a SABESP em 1987 contratou estudo para as suas cinco ETA, sobre os seus resíduos, possíveis tratamentos e disposição.

A necessidade de conhecer melhor o problema tem incentivado pesquisas no intuito de avaliar o potencial tóxico, quantificação e caracterização dos resíduos de ETA e principalmente pesquisas para se estudar as possíveis técnicas de redução do lodo, com redução de água, como sistemas de centrífugas e filtros prensas. Visto o enorme potencial brasileiro quanto às condições climáticas e disponibilidade de áreas, viu-se também a necessidade de se pesquisar a possibilidade de se utilizar tecnologias alternativas de desaguamento através de sistemas naturais, como por exemplo, os leitos de secagem.

Pode-se assegurar que no Brasil, menos de 0,5% das ETA possuem sistemas de remoção de água do lodo e/ou recuperação de água de lavagem de filtros e na maioria desses, os operadores citam que existem problemas operacionais (BARROSO, 2009).

Alguns exemplos de boas práticas citados por Barroso (2009) foram: Fontana (2004), no município de Cardoso-SP, que utilizou um leito de drenagem e obteve resultados satisfatórios, na ETA - Rio Descoberto e ETA - Pipiripau situadas em Brasília - DF, os sistemas foram projetados como filtração direta e nessas, as águas de lavagem dos filtros são encaminhadas ao adensamento por gravidade e posteriormente para centrífugas para remoção da água livre. Essa água retorna ao adensador e os sólidos são descartados em aterros. No caso de Cubatão - SP, os órgãos de meio ambiente exigiram soluções para o problema dos resíduos da ETA que trata cerca de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nesse caso foram projetados sistemas de filtros-prensa de esteiras. Em Campinas, Franca, Piracicaba e Ibaté, no estado de São Paulo, e Curitiba, no Paraná construíram, recentemente, sistemas de tratamento de resíduos constituído por adensamento por gravidade e centrífugas, porém, praticamente todos apresentam dificuldades operacionais.

Mesmo tendo boas práticas, o Brasil ainda enfrenta várias dificuldades para implantação de sistemas de tratamento e disposição de lodo e até mesmo para o tratamento da água de lavagem dos filtros para possível retorno a ETA, pois é necessário mudanças de culturas, de estruturas e investimentos o que dificulta e muito a sua execução.

2.4.2. Impactos ambientais e toxicidade dos resíduos

A toxicidade dos resíduos está associada ao tipo de coagulante primário que utilizado durante o tratamento, por exemplo, o sulfato de alumínio pode estar em grandes concentrações no lodo dos decantadores ou nos filtros, e se for disposto em rios com baixa velocidade ou em lagos, poderá causar problemas, alterando o ambiente adequado de peixes, plantas e outros.

Poucos estudos têm sido realizados para se confirmar qual o grau de toxicidade do alumínio e o que ele pode causar. Um dos estudos realizados foi citado por Cornwell et al (1987), onde Scholfild e Trojnar, verificaram o quão tóxico é o alumínio através de trutas. Nas dosagens de 0,2 a 0,5 mg.L⁻¹ de alumínio a morte desta espécie de peixe era muito grande, mas não se conseguiu distinguir qual as espécies de alumínio presentes, já que existe alumínio em grande parte do mundo.

Outro estudo foi realizado por Neubauer (1968), que concentrações elevadas de alumínio podem: reduzir a efetividade da desinfecção da água, aumentar a turbidez da água tratada e provocar a deposição de alumínio nas paredes dos tubos. Com esses estudos e outros relatos pode-se verificar a importância de se tratar corretamente a água para atingir os padrões de potabilidade e de emissão dos resíduos de maneira correta para evitar danos à saúde e ao meio ambiente.

2.4.3. Quantidade e características dos resíduos

A quantidade de resíduos gerados em uma ETA varia com o processo, produtos químicos utilizados, sazonalidade climática, variação da água bruta e outros. Em termos volumétricos o resíduo que possui maior volume é o da água de lavagem, e em termos mássicos a maior quantidade de resíduo produzido é o lodo gerado na descarga de decantadores. Valores encontrados na literatura comprovam este argumento: na água de lavagem são encontrados de 50 a 400 mg.L⁻¹ de sólidos que corresponde de 2 a 5 % do volume processado na estação, enquanto no lodo dos decantadores são encontrados de 500 a 30.000 mg.L⁻¹ de sólido, que representa de 0,1 a 0,3 % do volume gerado na estação de tratamento (USEPA, 2002).

Um estudo realizado por Kawamura (2000) mostrou que o lodo é muito mais concentrado que a água de lavagem dos filtros, o que justifica não realizar a mistura da água

de lavagem como o lodo da descarga dos decantadores, pois poderia levar a uma diluição do lodo.

O lodo gerado nos decantadores tende a compactar-se no fundo, pois sua limpeza geralmente é realizada de 3 a 12 vezes ao ano, formando um adensado no decantador. A quantidade de lodo também é influenciada pela maneira como é realizada a limpeza, pois depende da operação do operador, isto é, como ele utiliza a mangueira e o rodo para retirar o lodo, podendo utilizar mais ou menos água, gerando conseqüentemente mais ou menos lodo.

Dependendo do sistema de descarga dos decantadores, podem resultar em volumes e concentrações variáveis de resíduos, ocasionando, lavagens mais frequentes dos sistemas de filtração, pois se a descarga dos decantadores ocorrer em espaços de tempo grande será arrastada para filtros um maior número de flocos.

A lavagem dos filtros é geralmente realizada em intervalos de 12 a 24 horas com altas taxas (fluxo de água) e em curto espaço de tempo, cerca de 4 a 6 minutos. Durante o processo a concentração de sólidos em suspensão na água de lavagem de filtros sofre uma variação, sendo baixa no início e final da operação e atinge o seu ponto máximo de 2 a 3 minutos após o início do processo. Quando se observa uma água de lavagem clarificada e sem flocos, pode-se considerar que o filtro está limpo (REALI, 1999).

“As características desses resíduos dependem, principalmente, do método e da periodicidade das lavagens. Geralmente, a lavagem dos filtros é realizada somente com água, e consiste na aplicação de uma vazão ascensional.” (SCALIZE, 1997)

De acordo com BERNARDO (2002), a Tabela 2 abaixo apresenta dados relativos às caracterizações da água de lavagem de filtros de algumas ETA.

TABELA 2 - Características de água de lavagens de filtros de ETA.

Parâmetro	Estações de Tratamento de Água			
	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4
Turbidez (uT)	130	171	58	76
Cor aparente (uH)	200	2690	310	400
DQO (mg.L ⁻¹)	40,8	52,0	5,0	48,0
pH	7,10	8,04	6,90	7,25
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	37	-	17	12,6
Dureza (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	40,8	-	12,0	-
Condutividade (µS/cm)	95,0	-	38,0	37,1
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	367	-	88	130
Sólidos fixos (mg.L ⁻¹)	157	-	65	-
Sólidos voláteis (mg/L)	210	-	23	-
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	250	313	59	95
Fixos (mg.L ⁻¹)	210	230	42	-
Voláteis (mg.L ⁻¹)	40	83	17	-
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	74	41	3,4	8
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹ N)	-	-	4	-
Fosfato (mg.L ⁻¹)	0,037	-	0,220	-
Carbono orgânico total (mg.L ⁻¹)	11,80	-	6,26	6,44
Coliformes totais (NPM/100 ml)	24	17	2	1
Escherichia coli (NPM/100 ml)	18	20	72	3
Ferro (mg.L ⁻¹)	700,0	170,0	6,9	6,5
Alumínio (mg.L ⁻¹)	-	-	0,3	0,8
Manganês (mg.L ⁻¹)	2,19	1,17	0,10	0,10
Zinco (mg.L ⁻¹)	2,00	0,10	0,64	-
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,35	0,84	0,06	-
Chumbo (mg.L ⁻¹)	0,58	ND	ND	-
Níquel (mg.L ⁻¹)	0,35	ND	ND	-
Cromo (mg.L ⁻¹)	0,09	ND	ND	-
Cádmio (mg.L ⁻¹)	0,01	ND	ND	-
Cálcio (mg.L ⁻¹)	95,6	-	-	-
Manganês (mg.L ⁻¹)	22,8	-	-	-

ND: Não detectado

Adaptado de Bernardo et al. (2002).

Os resíduos de ETA são, normalmente, predominantemente inorgânicos. Suas características físicas e químicas e os níveis de concentração dos contaminantes presentes frequentemente estabelecem as opções possíveis de sua aplicação e disposição final.

Conforme pesquisa efetuada por Cordeiro (1993), alguns parâmetros para caracterização de lodos registrados na literatura, mostram-se bem variáveis, evidenciando a

diversidade entre as ETA. Além disso, há discrepância nos resultados obtidos por vários pesquisadores no que se refere às metodologias de tratamento e disposição dos lodos, confirmando que não existem soluções definitivas para a disposição dos lodos e mostrando a necessidade de equacionar o problema de forma individualmente (RIBEIRO, 2007).

Na Tabela 3 são mostrados alguns dos resíduos mais comuns gerados no tratamento de água.

TABELA 3 – Prováveis resíduos gerados em um tratamento de água

Produto	Proveniência	Aparece no resultado como	Sólido
Sólidos dissolvidos	Água bruta	Sólidos dissolvidos	Somente se precipitado
Sólidos Suspensos (argila, silte).	Água bruta	Argila e silte	Sim
Matéria orgânica	Água bruta	Provavelmente sem mudança	Sim
Sais de alumínio	Coagulação	Hidróxido de alumínio	Sim
Sais de ferro	Coagulação	Hidróxido de ferro	Sim
Polímeros	Tratamento químico	Sem mudança	Sim
Cal	Tratamento químico e correção de pH	Carbonato de cálcio ou impurezas se for usada solução de cal	Sim
Carvão ativado em pó	Controle de gosto e odor	Carvão ativado em pó	Sim
Cloro, ozônio	Desinfecção	Em solução	Não

Fonte: Freitas (2004).

Conhecer as características dos resíduos é extremamente fundamental para que se possam definir os métodos de manejo e disposição final. Para a caracterização dos resíduos vários parâmetros podem ser utilizados como: sólidos, turbidez, pH, alcalinidade, indicadores de matéria orgânica (demanda bioquímica de oxigênio – DBO, demanda química de oxigênio – DQO, carbono orgânico total – COT, concentração de sólidos voláteis – SV), índices bacteriológicos de interesse sanitário (coliformes totais, termo tolerantes, *E. coli*, cistos de Giárdia, oocistos de *Cryptosporidium*, contagem de ovos de helmintos), concentração de íons metálicos (bromo, manganês, chumbo, etc.) ou residuais dos coagulantes utilizados (alumínio e ferro), e concentração de parâmetros importantes do ponto de vista do tratamento biológico como nitrogênio e fósforo (GUIMARÃES, 2007).

A principal forma de caracterização dos resíduos da estação de tratamento é a séria de sólidos. A água de lavagem é geralmente caracterizada pela concentração de sólidos (mg.L^{-1}) e os lodos pelo teor de sólidos (%). A maior parte da matéria presente está em suspensão por

isso os valores de sólidos suspensos totais (SST) tendem a ser bem próximos aos dos sólidos totais (ST).

A Tabela 4 mostra o comparativo de alguns estudos realizados em ETA, mostrando a grande variabilidade das características do lodo gerado nos decantadores das mesmas, tendo a necessidade de equacionar o problema de forma individualizada (REALI, 1999).

TABELA 4 – Características dos lodos gerados em ETA

Autor/Ano	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	pH	ST (mg.L ⁻¹)	SV (%)	SS (%)
Neubauer (1968)	30 a 150	500 a 15.000	6,0 a 7,6	1.100 a 16.000	20 a 30	-
Sutherland (1969)	100 a 232	669 a 1.100	7,0	4.300 a 14.000	25,0	80
Bugg (1970)	380	1.162 a 15.800	6,5 a 6,7	4.380 a 28.580	20,0	-
Albrecht (1972)	30 a 100	500 a 10.000	5,0 a 7,0	3.000 a 15.000	20,0	75
Cup (1974)	40 a 150	340 a 5.000	7,0	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2.300	-	10.000	30,0	-
Singer (1974)	30 a 300	30 a 5.000	-	-	-	-
Cordeiro (1981)	320	5.150	6,5	81.575	20,7	-
Vidal (1990)	449	3.487	6,0 a 7,4	21.972	15,0	-
Vidal (1990)	173	1.176	6,7 a 7,1	6.300	73,0	-
Cordeiro (1993)	-	5.600	6,4	30.275	26,3	-
Patrizze (1998)	-	-	5,55	6.112	19,0	-
Patrizze (1998)	-	-	6,8	6.281	-	-

Fonte: REALI (1999).

2.4.4. Fórmulas empíricas para quantificar o lodo gerado

Vários pesquisadores desenvolveram fórmulas empíricas distintas para fazer a estimativa da produção de sólidos secos, sendo reproduzidas algumas na Tabela 5 para ETA que utilizam sais de alumínio ou ferro como coagulantes. Para facilitar, pode-se substituir o parâmetro “sólidos suspensos” por “turbidez”, visto que na maioria das vezes os dados de sólidos suspensos não estão disponíveis. Para isso, os autores sugerem a correção do valor da turbidez multiplicando-se por um fator que varia entre 1,0 a 2,0 (RIBEIRO, 2007).

A quantidade de lodo gerada em estações de tratamento de água depende da natureza físico-química da água, da dose e tipo de coagulante e demais substâncias envolvidas na coagulação. Na estimativa de volume de lodo gerado em estações de tratamento de água, pode-se adotar como densidade de sólidos secos o valor médio de 1900 kg.m⁻³ (RICHTER, 2001).

TABELA 5 – Fórmulas empíricas para quantificação do lodo gerado em ETA

Autor/Ano	Fórmula Empírica	Legenda
Kawamura (1991)	$P = (1,5 * T + k * D)$	P: produção de sólidos (g de matéria seca / m ³ água tratada) T: turbidez da água bruta (uT) D: dosagem do coagulante (mg.L ⁻¹) k: relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido k = 0,23 a 0,26 (sulfato de alumínio) k = 0,54 (sulfato férrico) k = 0,66 (cloreto férrico anidro) k = 0,40 (cloreto férrico hidratado)
<i>Water Research Center</i> – WRC (1979)	$P = (1,2 * T + 0,07 * C + k * D + A)$	P: produção de sólidos (g de matéria seca / m ³ de água tratada) T: turbidez da água bruta (uT) C: cor da água bruta (uC) D: dosagem do coagulante (mg.L ⁻¹) k: coeficiente de precipitação k = 0,17 (sulfato de alumínio líquido) k = 0,39 (cloreto férrico líquido) A: outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg.L ⁻¹).
<i>American Water Works Association</i> - AWWA (1996)	$P = 3,5 * T * 0,66$	P: produção de sólidos (g de matéria seca / m ³ de água tratada) T: turbidez da água bruta (uT)
Cornwell (1987)	$P = (0,44 * DSA + 1,5 * T + A)$	P: produção de sólidos (g de matéria seca / m ³ de água tratada) DSA: dosagem de sulfato de alumínio (mg.L ⁻¹) T: turbidez da água bruta (uT) A: outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L).
Richter (2001)	$S = (0,2 * C + k_1 T + k_2 D) / 1000$	S: massa de sólidos secos precipitada em quilograma por metro cúbico de água tratada; C: cor da água bruta (uC) T: turbidez da água bruta (uT) D: dosagem de coagulantes (mg.L ⁻¹) k ₁ : = 1,3 k ₂ = 0,26 – para o uso de coagulante sulfato de alumínio

Fonte: Reali (1999) e Richter (2001).

2.4.5. Manejo e disposição do lodo de uma ETA

Apesar dos resíduos não poderem ser dispostos em corpos d'água, grande parte dos mesmos o são. Estes resíduos após prévio manejo são geralmente dispostos em aterro sanitário, e para tanto, é necessária a desidratação até que atinja um teor de sólidos de no mínimo 20%. Para se atingir este valor ou valores superiores, atualmente, são necessários métodos como, por exemplo: decantadores, centrífugas e filtros prensa (RIBEIRO, 2007). Um projeto de um sistema de desidratação de lodos de ETA devem-se conhecer em princípio, os seguintes fatores, segundo Richter (2001):

- Estimativa de quantidade de lodo produzido;
- Métodos para minimizar a quantidade de lodo produzida;
- Métodos de desidratação.

Como nos dias de hoje há a cobrança pelo cuidado com o meio ambiente, sua proteção e sustentabilidade, vê-se a necessidade de tratar e dispor os resíduos, mas para isso o investimento financeiro é elevado, levando a estudos que promovam uma redução ou minimização na geração dos resíduos e aproveitamento máximo dos mesmos, tornando cada vez mais viável e justificável ao aprimoramento dos processos e sistemas, para minimizar os descartes.

“Sob esta ótica, a redução de perdas em estações de tratamento de água, sendo uma decorrência da necessidade de preservação dos recursos ambientais (água e solo onde são dispostos os resíduos do tratamento), resulta também numa estratégia de redução dos desperdícios de água no processo mediante o aumento direto de sua eficiência e, também, quando viável, de sua recuperação para o próprio abastecimento e para outros usos qualitativamente menos restritivos.” RIBEIRO (2007)

Os resíduos líquidos gerados são essencialmente provenientes das lavagens dos filtros e sua recuperação deve, geralmente, ser realizada separadamente do lodo gerado nos decantadores, ou seja, o envio dos despejos dos decantadores ao mesmo tanque de recuperação das águas de lavagem dos filtros não é recomendável, por exemplo, no caso de decantadores convencionais mecanizados. Como os despejos dos decantadores representam uma parcela muito pequena de água tratada, é preferível não recuperar esta água, além de que a presença maior de sólidos e substâncias indesejáveis dentro do sistema poderá levar até a paralisação temporária da recuperação da água de lavagem dos filtros e exigir um nível de controle para esta operação bem mais complexo (BERNARDO et al. 2002).

Na Figura 2 são mostradas as unidades de tratamento e pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional, sendo que, cada uma destas unidades pode variar de acordo com a necessidade da unidade geradora, da água de captação, com isso os resíduos também serão variáveis, sendo necessária a sua quantificação e caracterização em diferentes épocas do ano.

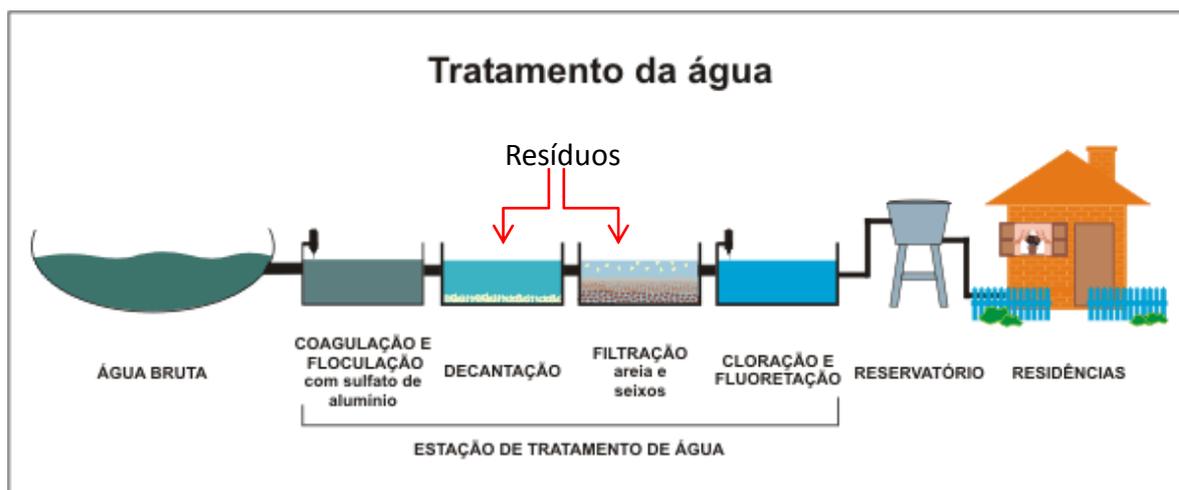


FIGURA 2 – Unidade de tratamento e pontos de geração de resíduos

Fonte: <http://www.pelotas.rs.gov.br/sanep/agua/tratamento.htm> (2011).

2.4.6. O impacto ambiental provocado pelo despejo de decantadores

A toxicidade dos lodos gerados nas ETA depende de fatores como qualidade da água bruta, produtos químicos utilizados para o tratamento e outros como já descritos. Outros fatores que também geram influência nesta toxicidade são: a forma de remoção do lodo; tempo de retenção do lodo nos decantadores; características físicas, químicas e biológicas do curso d'água.

Um dos produtos químico mais utilizado no tratamento é o sulfato de alumínio, sendo então este alumínio um metal tóxico dependendo de sua quantidade. Os lodos (LETA) têm em sua composição concentrações elevadas de alumínio e esse material quando lançado em cursos d'água com baixa velocidade ou lagos pode sedimentar isolando a camada bentônica. Alguns estudos realizados por Lamb e Bailey descritos por Cornwell (1987), foram realizados para verificar o impacto do alumínio em algumas espécies que são utilizadas de alimentos para os peixes, como por exemplo, o *T.disimilis* que é representativo da família dos *chironomideos*, utilizando lodos resultantes de tratamento com sulfato de alumínio, para determinar os impactos do alumínio sobre esses organismos. A mortalidade dessas espécies cresceu com o aumento da utilização do lodo que tinha como uma de suas características a presença de alumínio. Verifica-se através desse estudo que a taxa de mortalidade das espécies aumenta com o aumento das dosagens de lodo (RIBEIRO, 2007).

2.4.7. Tipos de tratamento de resíduos de lodo de ETA

Existe uma série de tecnologia desenvolvida para o tratamento e utilização do lodo gerado nos decantadores de ETA convencionais. As mais comuns envolvem o tratamento (composto principalmente pelas etapas de adensamento, condicionamento e desaguamento) e a disposição final em aterros sanitários, conforme Tabela 6.

TABELA 6 – Tipos de tratamento de resíduos e suas principais características

Tratamento	Principais Características
Adensamento do Lodo	<p>É utilizado como primeira etapa para o tratamento. Visa à redução do volume do lodo para que possa ocorrer a segunda etapa que é a desidratação. É uma das etapas mais importantes no processo de tratamento. Vários sistemas de desidratação necessitam que o teor de sólidos tenha um valor mais alto para que tenha a eficiência desejada. Pode ser feito por gravidade, flotação com ar dissolvido ou adensamentos mecânicos por tela (RIBEIRO, 2007).</p>
Desidratação do Lodo	<p>Geram lodos com consistências físicas variadas. Podem ser naturais ou mecânicos, Os processos naturais geralmente utilizados em ETA de pequeno e médio porte, com espaço físico desejável e condições climáticas favoráveis. Podem ser as lagoas de lodo e os leitos de secagem (RIBEIRO, 2007).</p>
Incineração dos Lodos	<p>Pode ser utilizada como tratamento do lodo, Gera outro resíduo, cinzas, que posteriormente precisa ser disposta em local ideal. Desvantagem é o alto custo de operação (BERNARDO et al., 2002).</p>

2.4.8. Recirculação da água de lavagem do filtro

O reuso da água, é definida como a utilização, controlada e planejada das águas residuárias renovadas para utilização benéfica na agricultura, na recarga de aquíferos subterrâneos, na irrigação de jardins e outros. Para que esta reutilização de água acontece é necessário um estudo sério e profundo sobre a água residuária, os tratamentos e a água que será reutilizada com a finalidade de evitar possíveis contaminações. Como a água desempenha papel importante na disseminação de doenças, torna-se importante pesquisar a presença de contaminantes nas amostras de sobrenadante e no sedimento obtido após clarificação da água de reuso, os quais poderão acarretar contaminação quando dispostos ou reutilizados inadequadamente (GUIMARÃES, 2007).

A recuperação das águas de lavagem dos filtros pode ser feita de duas maneiras realizando uma sedimentação prévia na água de lavagem, pois se a mesma estiver com uma qualidade microbiológica não satisfatória ou com presença de algum metal como, por exemplo, ferro e manganês, o que poderia afetar adversamente o processo de coagulação. Normalmente, a sedimentação é realizada em um tanque de equalização, onde os sólidos sedimentam e são enviados para tratamento juntamente com o lodo e o sobrenadante retorna para a entrada da estação de tratamento (BERNARDO et al., 2002).

A segunda opção é reciclar integralmente a água de lavagem para o início do processo de tratamento, sem a necessidade de remoção dos sólidos em suspensão presentes. O tanque de recebimento de água de lavagem passaria a trabalhar apenas como um tanque de equalização. Uma recomendação usual é que o retorno da água de lavagem não ultrapasse o valor de 10% da vazão da água bruta afluente à ETA, de modo a não causar prejuízo no processo de coagulação-floculação, na dosagem de coagulante ou sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento (FERREIRA e SOBRINHO, 1998).

A reutilização da água de lavagem dos filtros de maneira integral, com todos os seus sólidos, varia de acordo com o seu processo e principalmente com o tipo de filtração que ocorre, por exemplo, em ETA que utilizam a tecnologia da filtração direta ocorre um aumento da quantidade de sólidos afluente aos filtros, reduzindo as carreiras de filtração, não sendo então recomendado. Já as ETA de ciclo completo, que tratam água com baixa turbidez, o desempenho da floculação e decantação é melhorado, uma vez que os sólidos recirculados servem como núcleo para crescimento de flocos. No entanto, esta prática nem sempre é aconselhável (BERNARDO, 2005).

Alguns agravamentos têm que ser levados em consideração, pois juntamente com os sólidos da água de lavagem, vão impurezas, microrganismos acarretando em um possível aumento de consumo de produtos químicos. O que justifica a necessidade de novos estudos na área para possível redução de geração destes resíduos.

Segundo Grandin (1992), pode-se realizar a recirculação integral das águas de lavagem dos filtros com todos os sólidos para junto da entrada da água bruta. Para isso, é necessário um sistema de bombeamento que promova a recirculação e a construção de um tanque de regularização para possibilitar a recirculação de maneira mais uniforme na entrada da ETA e, em alguns casos, operar como um decantador (RIBEIRO, 2007).

Algumas pesquisas mostram resultados positivos para a reutilização da água de lavagem dos filtros, segundo: Ferreira (1997), as ETA 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 e Barbosa (1997) relata o aproveitamento da água de lavagem de filtro da ETA – Rio Descoberto, em Brasília – DF. Após sua clarificação em adensadores e na desidratação do lodo adensado em decantadores centrífugos, mostrando que o retorno do sobrenadante à ETA não compromete seu desempenho, desde que sejam realizadas algumas manobras operacionais periódicas (BERNARDO e SABOGAL-PAZ, 2008a).

2.4.9. Métodos de redução de lodos gerados em ETA

Os métodos destinados a redução da geração de lodos estão relacionados às dosagens de produtos químicos e à filtração.

2.4.9.1. *Otimização das dosagens dos coaguladores*

Para aperfeiçoar as dosagens de coagulante, é necessário realizar testes em laboratório (*jar test*), para identificar as melhores condições para o tratamento e a melhor dosagem, sempre levando em consideração o conhecimento das características da água bruta. Verificar a possibilidade de utilização de um coagulante que possua uma maior eficiência o que leva a uma possível redução de consumo do mesmo, gerando um lodo em menor quantidade. Portanto, deve-se considerar a qualidade (quantidade de impurezas) do coagulante utilizado, verificando-se os vários fornecedores deste produto, pois um coagulante de pior qualidade exige, necessariamente, maiores dosagens.

Segundo os testes realizados por James e Omelia (1982), a utilização conjunta de sulfato de alumínio seguido de polímero, colocado após um minuto de agitação da adição do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, promoveu boa remoção da turbidez e do carbono orgânico total (COT) com redução na produção de lodo de 50 a 75%, dependendo da proporção sulfato de alumínio/polímero (RIBEIRO, 2007).

Uma alternativa é a utilização de lodo como auxiliar na floculação de água de baixa turbidez, reduzindo então o consumo de coagulante, como comprovado por Cordeiro (1981), que utilizou o lodo e obteve uma redução de 60% do consumo do coagulante.

A gestão destes processos, a manutenção dos equipamentos, e a calibração dos equipamentos de dosagens, além de um treinamento periódico das pessoas responsáveis por todo esse processo, é de suma importância, pois garante a exatidão das dosagens e a eficiência esperada do processo, gerando assim a quantidade de lodo já determinada pelo tratamento.

2.4.9.2. Utilização do by-pass para filtração direta

As características da água bruta variam em função das estações do ano. Nesse sentido, em ETA com tratamento completo pode-se avaliar a viabilidade da construção do by-pass, resumindo o tratamento da água bruta à coagulação seguida de filtração, em determinadas épocas do ano quando suas características permitirem tal simplificação.

Neste caso, a quantidade de coagulante utilizada seria bem menor, pois não haveria a necessidade de formação de grandes flocos sedimentáveis, e sim micro flocos que seriam retidos nos filtros (DI BERNADO et al. 2002).

2.4.10. Alternativas de tratamento e disposição

O método de tratamento dos despejos e a forma empregada para disposição do lodo devem ser escolhidos de forma adequada, levando-se em conta os seguintes aspectos: quantidade e características dos despejos; disponibilidade de área e características dos mananciais próximos às ETA e custos envolvidos nas possíveis soluções. Como para um determinado despejo não poderão ser utilizados para outros (RIBEIRO, 2007). A Tabela 7 mostra alguns tipos de disposição do lodo com suas principais características.

TABELA 7 – Tipos de disposição de lodo das ETA

Tipos de disposição	Características
Lançamento direto em águas superficiais	<p>A prática mais comumente utilizada. É o método mais econômico, mas poderá acarretar grandes problemas quanto ao grau de poluição. Quando descarregados em rios com baixa velocidade, podem formar bancos de lodos e, ocasionalmente, causar odores desagradáveis. Pode ser viável onde a carga poluidora tem condições de ser absorvida pelo corpo receptor ou em cursos d'água não destinados ao abastecimento público ou a qualquer tipo de uso nobre (REALI, 1999). Desvantagem - quando as ETA não dispõem seus resíduos em intervalos de tempo acima de vinte dias, pois esses resíduos possuem uma concentração de sólidos de cerca de 2,5%, podendo alterar as características destes corpos receptores.</p>
Disposição em Aterro Sanitário	<p>Pode ser disposto de maneira planejada e após estudo sanitário e ambiental prévio. Desvantagem é a produção de percolados originados do excesso de água dos resíduos ou da chuva, tendo então que ser realizadas drenagens periódicas para evitar a contaminação do solo, ou das águas superficiais ou subterrâneas por metais pesados ou contaminantes orgânicos. O aterro possui vida útil determinada, É necessário monitoramento ambiental durante e após o seu funcionamento para que a área do mesmo seja utilizada para outros fins como, por exemplo, para parques, praças e outros (GUIMARÃES, 2007).</p>
Disposição em solos agrícolas	<p>Algumas pesquisas demonstraram algum benefício na sua aplicação de lodo em solos agrícolas, como: Melhoria estrutural do solo; Ajuste de pH, quando os lodos continham significativa concentração de cal devido a acertos de pH no tratamento da água ou devido à adição de cal na desidratação mecânica; Aumento da capacidade de retenção de água; Melhoria nas condições de aeração do solo (RIBEIRO, 2007). Desvantagem - pode causar deficiência de fósforo, diminuindo a produtividade de algumas culturas que necessitam do mesmo. É fundamental um estudo prévio do tipo de solo, suas características e as características do solo, para que a correção do solo seja realizada com fertilizantes (DAYTON e BASTA, 2001). A utilização dos lodos pode ser na forma líquida ou desidratada. Desse modo, o lodo pode ser aplicado com qualquer teor de sólidos que seja economicamente factível para a estação de tratamento e aceitável pelo agricultor.</p>

O Sistema de Captação Piancó (Figura 4) é formado por uma barragem de nível (Figura 5), de onde deriva um canal aberto para recepção da água, contendo na entrada do canal, um gradeamento com tela para retenção de materiais estranhos, tais como: 1) Materiais flutuantes; 2) Materiais em suspensão (folhas, galhos, plantas, etc.); e 3) Animais aquáticos (peixes, répteis, moluscos, etc.). Após o gradeamento com tela, um desarenador constituído de dois módulos idênticos, paralelos, é dotado de comportas tipo *stop-log* na entrada e na descarga de fundo. Após o desarenador, a água é conduzida aos poços de sucção da elevatória.



FIGURA 4 – Sistema de captação de água bruta do Ribeirão Piancó.
Fonte: GOOGLE (2011), data da imagem – 10/04/2010.



FIGURA 5 – Barragem do Piancó
 Fonte: SANEAGO, 2009

A água do Ribeirão Piancó é recalçada pela estação elevatória, instalada próximo do ponto de captação, e uma adutora a conduz até a ETA de Anápolis (Figura 6), distante cerca de 15.000 metros (Figura 3). As coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e altitude dos pontos de captação e da ETA de Anápolis estão descritas na Tabela 8.

TABELA 8 – Localização da captação de água do Ribeirão Piancó e ETA de Anápolis.

Local	Coordenadas UTM (Zona 22 K)		Altitude (m)
	X	Y	
Ponto de captação no Ribeirão Piancó	720749.7825	8212633.0958	975
ETA de Anápolis	718861.2013	8197570.7479	1.110

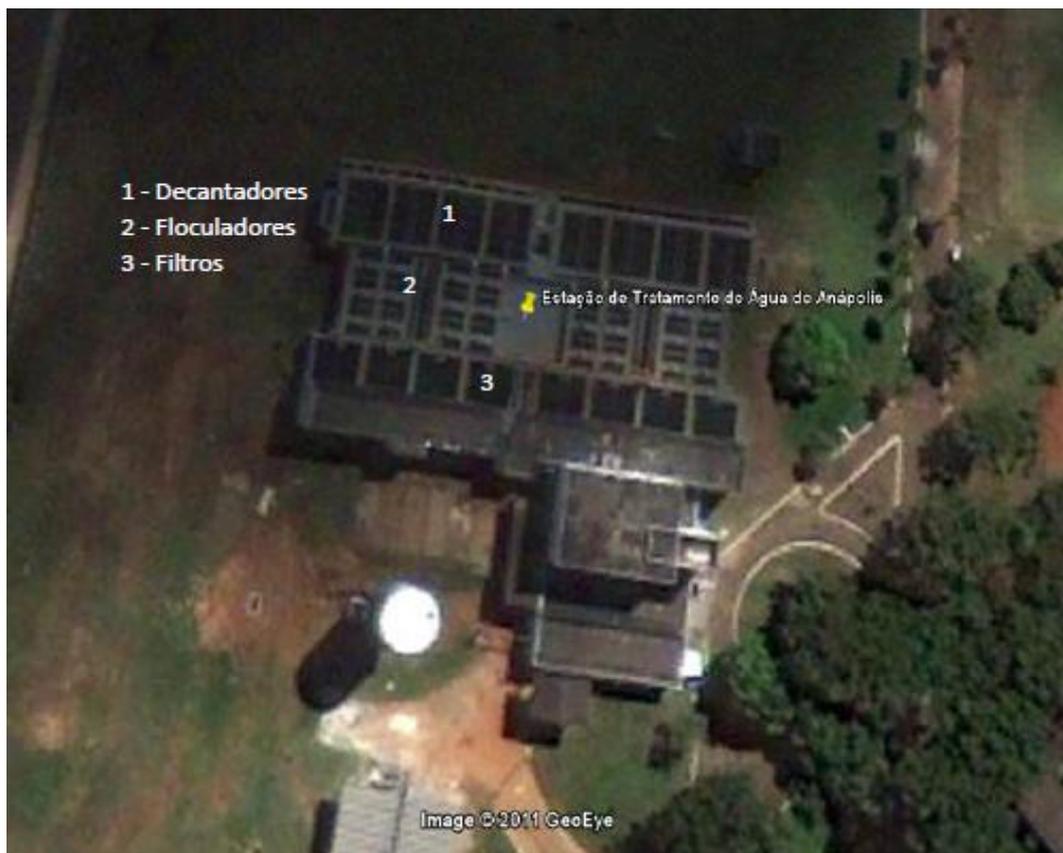


FIGURA 6 - Estação de Tratamento de Água de Anápolis
Fonte: GOOGLE (2011), data da imagem – 04/12/2010.

A Estação de Tratamento de Água de Abastecimento Público de Anápolis utiliza como tecnologia de tratamento da água bruta do Ribeirão Piancó, o processo de ciclo completo, tendo como sequência das etapas de tratamento e geração dos resíduos significativos, as operações e processos esquematizados na Figura 7.

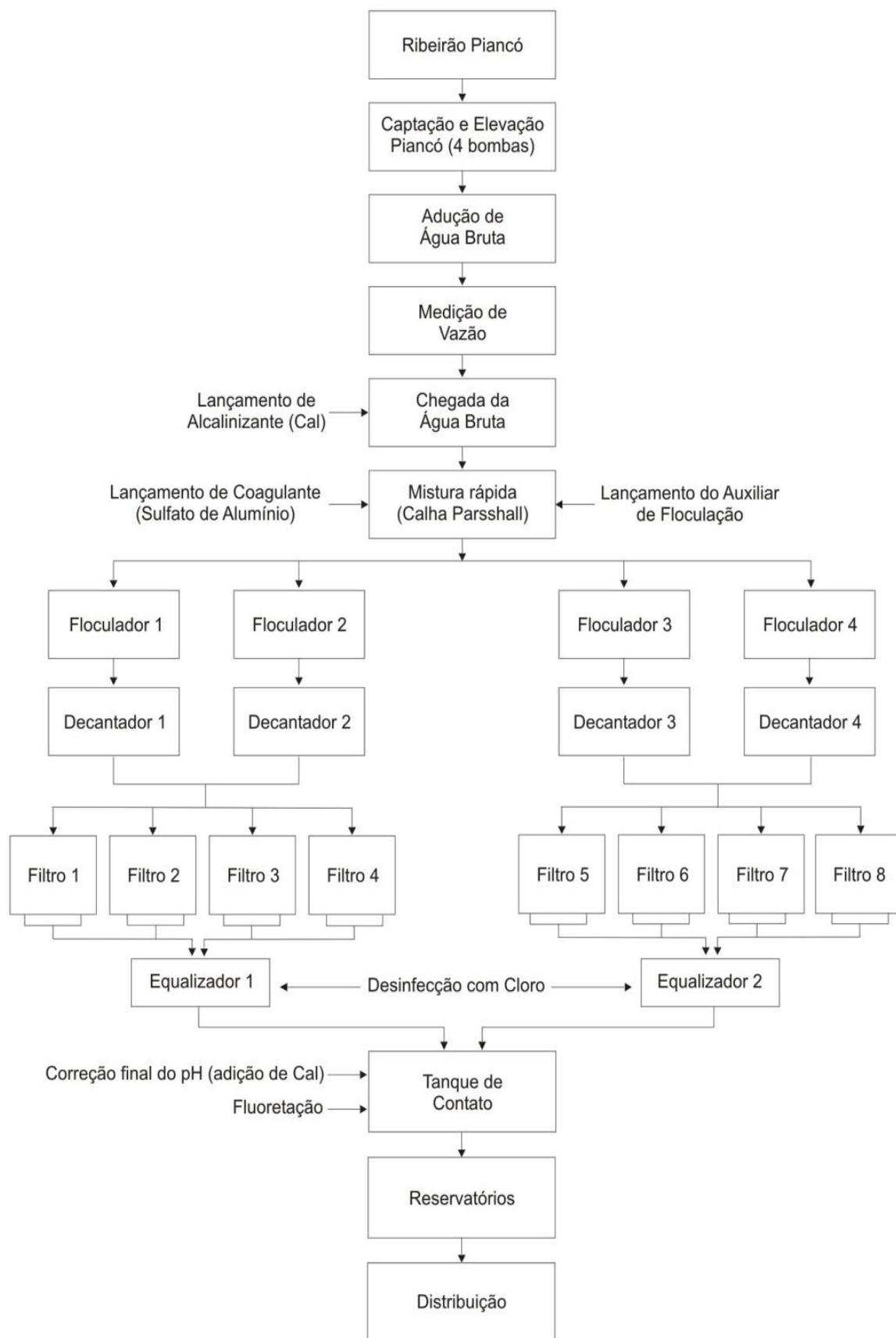


FIGURA 7 – Fluxograma do tratamento da água bruta do Ribeirão Piancó realizado na ETA de Anápolis.

A água bruta captada no Ribeirão Piancó chega à ETA em uma câmara de dimensões 3,9 m de comprimento, 1,9 m de largura e 3,0 m de profundidade, onde é adicionada cal hidratada a uma vazão mássica média de $400 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ e uma vazão máxima de $800 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$, empregada na alcalinização e elevação do pH da água bruta (Figura 8).



FIGURA 8 – Chegada da água bruta e dosagem da cal hidratada para correção do pH.



FIGURA 9 – Calha Parshall utilizada como misturador rápido, onde ocorre a adição do coagulante.

A ETA utiliza como coagulante, o sulfato de alumínio, na forma hidratada, expressa por $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$ (onde n varia de 14 a 18 moléculas). O coagulante é aplicado na garganta do vertedor *Parshall*, com distribuição uniforme na secção transversal da garganta por meio de uma calha perfurada, com a finalidade de que toda a massa líquida receba o coagulante e ocorra mistura rápida (Figura 9). A vazão mássica média de sulfato de alumínio é de $800 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ e a vazão máxima é de $1.600 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Em seguida, a água coagulada escoar através de flocladores mecânicos verticais (4,3 m de comprimento, 4,3 m de largura e 3,56 m de lâmina d'água), onde é submetida à agitação para formação dos flocos. A ETA trabalha com quatro flocladores, sendo cada um, constituído de seis câmaras, com seis impulsores rotativos do tipo paletas de eixo vertical. Estes impulsores possuem diferentes velocidades de rotação, desenvolvendo um gradiente de velocidade de rotação ao longo da série de câmaras, iniciando como uma rotação de 5,0 rpm

até ser reduzida para 2,4 rpm. Cada câmara apresenta as dimensões de 4,60 m de comprimento, 3,30 m de largura e 3,40 m de profundidade (Figura 10).



FIGURA 10 – Série de floculadores com impulsores rotativos de eixo vertical.

A próxima etapa consiste na decantação dos flocos formados, que é realizada em quatro decantadores de fluxo ascendente e alta taxa, que se encontram alinhados e contíguos aos floculadores. Cada decantador apresenta as dimensões de 13,44 m de comprimento, 8,60 m de largura e 3,5 m de altura, possui duas câmaras internas e cada câmara tem quatro calhas coletoras de água.

O lodo gerado fica no fundo dos decantadores, de onde é drenado por uma tubulação de descarga de fundo. O lodo drenado dos quatro decantadores é despejado numa canaleta (Figura 11), para em seguida ser despejado em um corpo d'água próximo a estação de tratamento. As descargas de lodo são realizadas diariamente, de forma alternada, em média, uma vez por dia no período seco e duas vezes ao dia no período chuvoso. Este procedimento ocorre em função da turbidez presente na água bruta, que impõe uma descarga diária de lodo quando a turbidez está abaixo de 20 uT, e duas descargas por dia quando a turbidez está acima

de 20 uT. O procedimento de drenagem do lodo de um decantador dura em média de 8 a 10 minutos.



FIGURA 11 – Descarga do lodo de um decantador na canaleta lateral na ETA de Anápolis.

Após a decantação, a água clarificada é filtrada por gravidade em oito filtros rápidos com dupla camada, uma de antracito e outra de areia. Os filtros apresentam as seguintes dimensões: 5,20 m de comprimento, 2,81 m de largura e 5 m de altura. Após a saturação de impurezas no leito filtrante, é realizada uma lavagem superficial, seguida de uma retro lavagem (Figura 12), onde são consumidos, em média, 150 m³ de água potável por lavagem de filtro.



FIGURA 12 – Início da lavagem de um filtro na ETA de Anápolis.

Da mesma forma que ocorre nos decantadores, no período de seca, cada filtro é lavado uma vez por dia, e duas vezes ao dia no período chuvoso. Este fato também se deve à turbidez presente na água bruta, cuja lavagem diária para cada filtro ocorre quando a turbidez está abaixo de 20 uT, e duas lavagem por dia quando a turbidez está acima de 20 uT. Uma turbidez elevada da água bruta ocasiona a saturação do filtro que, por conseguinte eleva o nível coluna de água sobre o leito filtrante. O procedimento de lavagem de um filtro dura em média 15 minutos.

A água de lavagem dos filtros na ETA de Anápolis não é reaproveitada e seu destino final é um corpo d'água próximo a estação de tratamento, da mesma forma como ocorre como o lodo dos decantadores. A lavagem dos filtros ocorre de forma alternada, sendo realizada diariamente em média uma vez ao dia, de acordo com a necessidade.

Após a filtração, a água é encaminhada para o processo de correção do pH, desinfecção com cloro e adição de flúor, exigido pela legislação, depois vai para os reservatórios, de onde são distribuídos para cidade de Anápolis. As vazões mássicas médias de cloro gasoso e ácido fluossilícico são 50 kg.dia^{-1} e 175 kg.dia^{-1} , respectivamente.

3.2. Coleta das amostras

Os resíduos da ETA de Anápolis são, basicamente, o lodo gerado durante as descargas de fundo dos decantadores e a água residuária descartada nas operações de retrolavagem dos filtros. Considerando que, a estação de tratamento de água possui quatro decantadores e oito filtros e que inexistem dados preliminares sobre a caracterização e quantificação desses resíduos, optou-se por estudar os resíduos produzidos por apenas um decantador e um filtro, como indicados no esquema da Figura 13. Este mesmo procedimento foi adotado por Souza e Cordeiro (2004), que supôs que os resíduos gerados nos decantadores eram idênticos em todas as variáveis, uma vez que a água bruta era a mesma e passava pelo mesmo tratamento sob as mesmas condições de operação e processo. A mesma suposição foi adotada para a água de lavagem dos filtros.



FIGURA 13 – Localização dos pontos de amostragem de lodo do decantador e água de lavagem de filtro.

Fonte: GOOGLE (2011), data da imagem – 04/12/2010.

3.2.1. Frequência e condições de amostragem

As amostras dos resíduos foram coletadas durante seis meses, com um intervalo médio entre as coletas de cerca de 25 dias, a fim de compreender os períodos climatológicos de seca, transição seca-chuva e chuvoso. De acordo com a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás, SECTEC (2011), os períodos (seco, transição e chuva) que ocorreram durante os seis meses de estudo são: seco – agosto, transição – setembro e outubro e chuvas – novembro, dezembro e janeiro. (Figura 14).

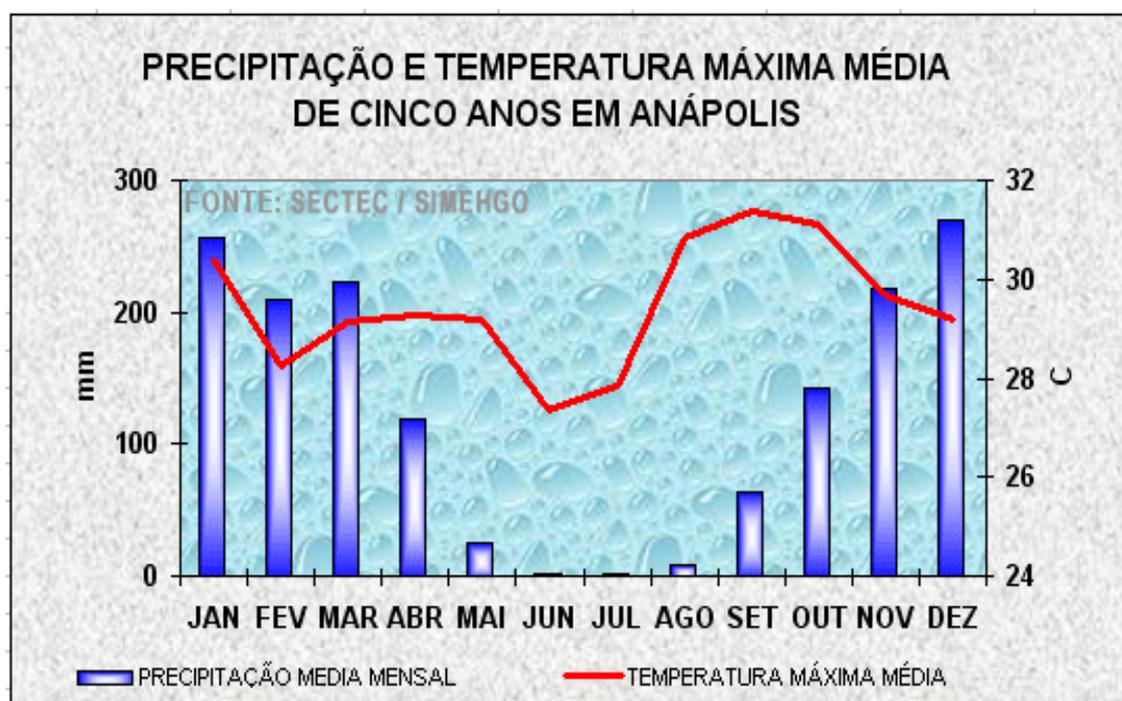


FIGURA 14 – Precipitação média nos anos de 2006 a 2010, em Anápolis, Goiás.
Fonte: SECTEC (2011)

Deste modo, foram realizadas seis coletas de lodo dos decantadores (L1 a L6) e seis amostras de água de lavagem dos filtros (F1 a F6). Além das amostragens dos resíduos da ETA, foram também coletadas seis amostras de água bruta (A1 a A6), com o objetivo de servirem como parâmetro de referência ou teste branco. A caracterização da água bruta foi utilizada para comparar os teores de impureza contidas na água antes do tratamento e os teores de impureza retidos nos resíduos gerados após o tratamento da água (Tabela 9).

TABELA 9 – Datas, horários e nomenclaturas das amostragens compostas de água bruta, lodo de decantador e água de lavagem de filtro.

Data	Período de Coleta (h)	Água Bruta (teste branco)	Lodo (resíduo)	Água de Lavagem (resíduo)
21/08/2010		A1	L1	F1
09/09/2010		A2	L2	F2
26/10/2010	9:00 – 11:00	A3	L3	F3
22/11/2010		A4	L4	F4
13/12/2010		A5	L5	F5
22/01/2011		A6	L6	F6

O volume das amostras individuais de água bruta, lodo e água de lavagem foram estimadas em função das quantidades mínimas necessárias à realização das análises físico-químicas e bacteriológicas, em duplicata. A previsão do volume amostral foi fundamentada nas recomendações de Braile e Cavalcanti (1993) para especificações de tipo de frasco, volume mínimo, preservação e estocagem de amostras de água. O volume estimado para cada bateria de análises individuais para caracterização da água bruta, lodo e água de lavagem foi de aproximadamente 8,3 L, 12,3 L e 8,3 L, respectivamente.

Todas as amostras (água bruta, lodo e água de lavagem) foram coletadas no período da manhã, de 9:00 as 11:00 h, iniciando-se com a coleta de água bruta, posteriormente do lodo dos decantadores e por último a água de lavagem dos filtros, seguindo o fluxo do processo. Todas as coletas foram realizadas sem interferência de precipitação pluviométrica no ato da amostragem, bem como, não houve ocorrência de chuvas no dia anterior às coletas. As amostras foram coletadas de acordo com a Norma NBR 9898 / 1987, que dispõe sobre a preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

3.2.2. Amostragem de água bruta do Ribeirão Piancó

A água bruta de captação foi coletada nos mesmos dias que as amostras de lodo do decantador e água de lavagem do filtro. A água de captação foi amostrada na câmara de recepção, antes da adição de cal.(Figura 15).



FIGURA 15 – Amostragem da água bruta na câmara de recepção antes da dosagem da cal hidratada.

3.2.3. Amostragem de lodo do decantador

O lodo gerado no segundo decantador foi coletado em uma canaleta de descarga, situada na lateral dos decantadores (Figura 16). Como a descarga de lodo é realizada uma vez por dia, obedecendo a rotina da ETA de Anápolis, com uma duração média de aproximadamente 12 minutos.

As amostras de lodo foram retiradas após abertura da válvula borboleta da tubulação de descarga de fundo do segundo decantador, sendo coletadas na canaleta lateral aos decantadores, por meio de um balde de plástico, de capacidade máxima de 5 L, em intervalos de dois em dois minutos, para formação de uma amostra composta em um tambor de polietileno com capacidade máxima de armazenamento de 50 L (Figura 14).

Como a operação de descarte de lodo era realizada manualmente, instruiu-se o operador da ETA que fizesse o descarte de lodo seguinte a rotina diária de trabalho na ETA. Este procedimento foi adotado para que a coleta refletisse a realidade operacional da estação.



FIGURA 16 – Amostragem composta de lodo via descarga de fundo do decantador. (a) Coleta de lodo na canaleta lateral dos decantadores. (b) Formação da amostra composta de lodo em tambor de polietileno.

3.2.4. Amostragem de água de lavagem de filtro

Como a operação de retrolavagem ocorre pela injeção de água potável em contracorrente, com fluxo ascendente, para promover o desprendimento das impurezas retidas no leito filtrante durante o processo de filtração por fluxo descendente, decidiu-se coletar a água residuária de lavagem na parte superior do filtro, em sua porção central.

Pelo fato da operação de lavagem de cada filtro durar em média 14 minutos, optou-se por formar a amostra composta de água de lavagem de filtro, coletando-se alíquotas de dois em dois minutos, por meio de um balde de plástico de capacidade máxima de cinco litros, com armazenamento das alíquotas em tambor de polietileno de 50 L (Figura 17).

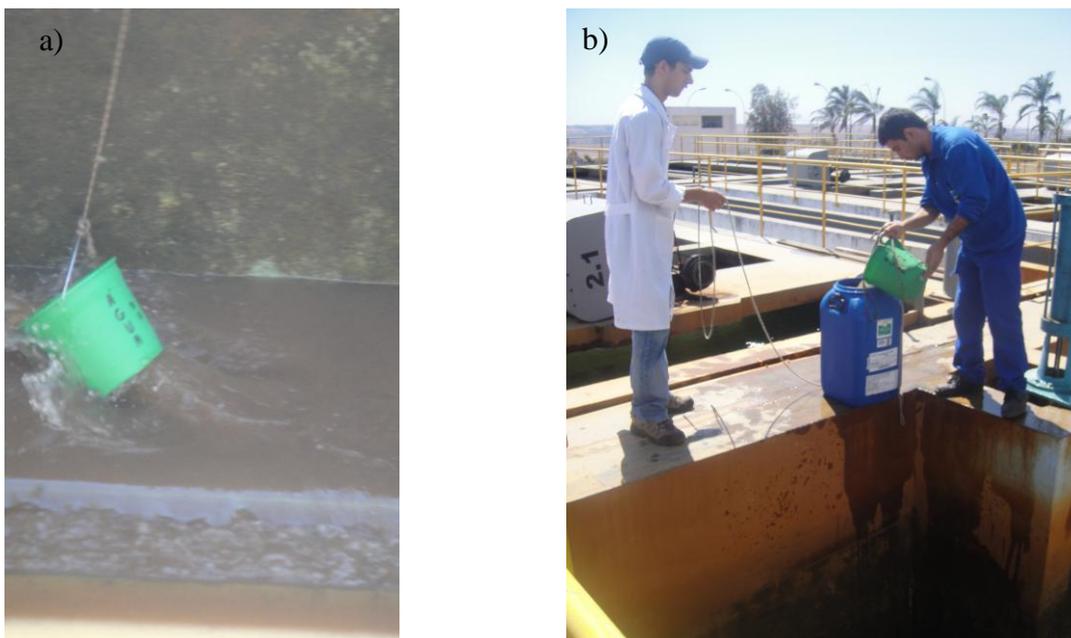


FIGURA 17 – Amostragem da água de lavagem do filtro. (a) Coleta de água de lavagem de filtro. (b) Formação da amostra composta de água de lavagem.

3.3. Análises de caracterização das amostras

A caracterização das amostras individuais de água bruta, lodo e água de lavagem foi realizada por meio de análises físicas, químicas e bacteriológicas, fundamentadas nas metodologias prescritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20^a edição (AWWA, APHA, WPCI, 1999). As análises físicas, químicas e bacteriológicas foram desenvolvidas nos laboratórios da ETA de Anápolis, Universidade Estadual de Goiás (UEG) e Superintendência de Geologia e Mineração (antiga METAGO), seguindo as metodologias especificadas na Tabela 10.

3.3.1. Avaliação dos dados de caracterização das amostras

Os resultados das análises de caracterização físico-química e bacteriológica das amostras de água bruta, lodo e água de lavagem de filtro foram dispostos em gráfico em função do tempo, com a finalidade de se observar a variação temporal dos seguintes parâmetros: turbidez, alcalinidade total, acidez total, condutividade, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos, sólidos totais, IDL (índice de densidade do lodo), IVL (índice volumétrico do lodo), metais (alumínio, ferro e manganês), pH, temperatura, coliformes totais e coliformes termotolerantes, no período de

agosto de 2010 a janeiro de 2011. Observou também, as possíveis tendências e correlações entre os parâmetros.

Além da avaliação da variação temporal individual para cada tipo de amostra (água bruta, lodo e água de lavagem) foram avaliadas também a variação temporal conjunta entre os resíduos da ETA (lodo e água de lavagem) e a água bruta.

TABELA 10 – Parâmetros, métodos, equipamentos e locais de análises para caracterização dos resíduos.

Natureza da Análise	Parâmetro	Símbolo	Unidade Típica	Método	Equipamento / Instrumento	Local
Física	Altura ou Profundidade	H	m	Escala métrica	Régua linimétrica ou cabo contendo marcação	ETA Anápolis
	Sólidos Dissolvidos	SDT	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	Filtro a vácuo	UEG
	Sólidos Sedimentáveis	SSed.	mL.L ⁻¹	Volumétrico	Cone de Imhoff	UEG
	Sólidos Suspensos	SS	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	Cápsula de porcelana e banho-maria	UEG
	Sólidos Totais	ST	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	Cápsula de porcelana e banho-maria	UEG
	Índice de densidade do lodo	IDL	-	Gravimétrico	Proveta de 1 litro	UEG
	Índice volumétrico do lodo	IVL	-	Gravimétrico	Proveta de 1 L	UEG
	Temperatura	-	°C	Instrumental	Termômetro do oxímetro	ETA Anápolis
	Turbidez	T	uT	Espectroscopia	Turbidímetro portátil 2100 P	ETA Anápolis
	Vazão	Q	m ³ .h ⁻¹	Volumétrico	Calha Parshall	ETA Anápolis
Química	Acidez	-	mg.L ⁻¹	Volumétrico	Bureta e béquer	UEG
	Alcalinidade Total	-	mg.L ⁻¹ de CaCO ₃	Volumétrico	Bureta e béquer	UEG
	Alumínio, Ferro e Manganês	-	-	Espectroscopia de absorção atômica	<i>Perkin Elmer</i> modelo <i>Analyst 200</i>	METAGO
	Condutividade	-	mS/cm	Eletroquímico	Condutivímetro Portátil Microprocessado CG 220	UEG
	Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg.L ⁻¹ de O ₂	Titulométrico de refluxo fechado	Bureta e béquer	UEG
	Dureza	-	mg.L ⁻¹ de CaCO ₃	Titulometria de complexação	Bureta e béquer	UEG
	Oxigênio Dissolvido	OD	mg.L ⁻¹ de O ₂	Eletroquímico	Oxímetro	UEG
	Potencial Hidrogeniônico	pH	-	Eletroquímico	pHmêtro digital de bancada PLA-PH	ETA Anápolis
Biológica	Coliformes Termotolerantes	CT	NMP.100 mL ⁻¹	Cromogênico	Cartela <i>Colilert</i> e estufa bacteriológica	UEG
	Coliformes Totais	C _{Totais}	NMP.100 mL ⁻¹	Cromogênico	Cartela <i>Colilert</i> e estufa bacteriológica	UEG

3.4. Quantificação das amostras

Os resíduos da ETA de Anápolis foram quantificados pelos métodos prático e semi-empírico. O método prático empregou a técnica volumétrica e o método semi-empírico, utilizou fórmulas racionais.

3.4.1. Quantificação do lodo do decantador

A quantidade de lodo gerada em um decantador foi estimada empregando-se cinco equações racionais, citadas no capítulo anterior. As fórmulas racionais são de autoria de Kawamura, Cornwell, WRC, AWWA e Richter, que empregam os seguintes parâmetros medidos na prática: produção de sólidos (P), em grama de matéria seca por metros cúbicos de água tratada; turbidez da água bruta (T), em uT; dosagem do coagulante (D), em mg.L^{-1} ; cor da água bruta (C), uC; concentração outros aditivos (A), como carvão ativado em pó e polieletrólitos, em mg.L^{-1} .

Não foi possível determinar a quantidade de lodo produzido no decantador pelo método volumétrico pelo fato de os decantadores não possuírem medidores de vazão na tubulação de descarga de fundo. Por esta razão, adotou-se o método semi-empírico para determinação de lodo.

A quantificação volumétrica da água de lavagem e do lodo do decantador em função do volume de água tratada, foi realizada para se verificar a porcentagem de resíduo gerado em relação a quantidade de água tratada e para verificar a relação entre os resíduos. Para a determinação do volume do lodo gerado foi feita uma média do lodo diário das cinco fórmulas racionais citadas acima. O cálculo foi realizado através da fórmula $V = m/\mu$, onde V é o volume do lodo gerado em metros cúbicos, m é a média da massa gerada de lodo diário e μ é a massa específica do lodo que é 2,65 gramas por centímetros cúbicos, segundo Cordeiro (1993).

3.4.2. Quantificação da água de lavagem do filtro

Adotou-se a técnica volumétrica de medição de vazão para quantificar a água consumida para lavagem de um filtro, empregando-se o macro medidor ultrassônico de vazão, da marca Fisher Rosemount Modelo 8732C. A quantidade de água utilizada para lavar os filtros não é determinada pelo medidor de vazão e sim pela experiência do operador que determina a ordem de lavagem dos filtros de acordo com a eficiência de cada filtro e também o momento de iniciar e encerrar a lavagem verificando a cor da água, que deve estar bem límpida para que possa ser encerrada, variando o volume de água bruta utilizada para a lavagem.

3.4.3. Avaliação dos dados de quantificação das amostras

A avaliação das quantidades de resíduos gerados foi realizada em bases percentuais para consumo de água empregada na lavagem de um filtro, relativa à quantidade de água tratada, enquanto que a compreensão das quantidades de lodo produzido em um decantador foi feita por intermédio da variação das massas de lodo, em base seca, e massas acumuladas em função do tempo; assim como, a comparação entre as quantidades estimadas pelas diferentes fórmulas empíricas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da água bruta do Ribeirão Piancó

A caracterização da água bruta, realizada no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011 e todos os resultados obtidos são encontrados abaixo (Tabela 11).

TABELA 11 – Caracterização físico-química e bacteriológica da água bruta do Ribeirão Piancó, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011.

Natureza da Análise	Parâmetro	Unidade	Data						Faixa
			Ago/10	Set/10	Out/10	Nov/10	Dez/10	Jan/10	
Físico-Química	Cor	uC	18,90	30,50	39,10	57,00	104,62	95,60	18,9 – 104,6
	Turbidez	uT	4,29	9,71	17,60	27,55	43,80	29,70	4,3 – 43,8
	Alcalinidade	mg.L ⁻¹	17,02	3,50	13,26	10,01	3,75	16,51	3,5 – 17,0
	Acidez	mg.L ⁻¹	3,50	2,50	4,50	6,00	3,75	10,50	2,5 – 10,5
	Condutividade	mS.cm ⁻¹	29,50	35,50	22,11	21,35	28,00	34,00	21,4 – 35,5
	OD	mg.L ⁻¹	7,95	8,85	5,75	10,50	15,15	12,75	5,75 – 15,15
	DQO	mg.L ⁻¹	NR	0,00	0,00	19,87	4,15	0,00	0,0 – 19,87
	SDT	mg.L ⁻¹	8,00	6,50	19,50	10,00	40,00	60,00	6,5 – 60,0
	SS	mg.L ⁻¹	17,00	9,50	59,50	15,00	45,00	200,00	9,5 – 200,0
	ST	mg.L ⁻¹	25,00	16,00	79,00	25,00	85,00	260,00	16,0 – 260,0
	Alumínio	mg.L ⁻¹	4,87	3,42	2,55	NR	NR	NR	2,55 – 4,87
	Ferro	mg.L ⁻¹	1,73	1,58	4,95	NR	NR	NR	1,6 – 5,0
	Manganês	mg.L ⁻¹	0,10	0,10	0,10	NR	NR	NR	0,1
	pH			8,35	6,93	7,63	8,75	8,46	7,05
Temperatura	°C		16,50	23,50	24,50	22,00	23,05	23,20	16,5 – 24,5
Bacteriológica	Coliformes Totais	NMP.100 mL ⁻¹	NR	NR	4	3	0	1	0 – 4
	Coliformes E.coli	NMP.100 mL ⁻¹	NR	NR	0	0	0	0	0

NR = Não foi registrado.

A caracterização mostrou que a água do Ribeirão Piancó é de boa qualidade, com parâmetros dentro do exigido da resolução do CONAMA nº 357, tendo apenas o alumínio e o ferro fora da especificação. Sugere-se uma avaliação dos possíveis motivos para este valor tão elevado (Tabela 12).

TABELA 12 – Comparação dos parâmetros da água bruta com os exigidos pela legislação

Parâmetro	Água Bruta	CONAMA nº 357
pH	7,76	6,0 a 9,0
Turbidez (uT)	22,58	Até 100
OD (mg.L ⁻¹)	9,68	> 5
SDT (mg.L ⁻¹)	14,75	500
Alumínio (mg.L ⁻¹)	3,42	0,1
Ferro (mg.L ⁻¹)	1,73	0,3
Coliformes Totais NMP.(100 mL) ⁻¹	2	1000

Alguns parâmetros como turbidez e série de sólidos demonstram como as chuvas são fatores importantes no seu valor. A turbidez, por exemplo, no mês de agosto (período de pouca chuva) foi de 4,29 uT, chegando a 43,8 uT em dezembro (período de muita chuva) (Figura 18). O mesmo pode ser observado pelos sólidos que variou de 25 a 260 mg.L⁻¹, período de estiagem e chuva, respectivamente (Figura 19).

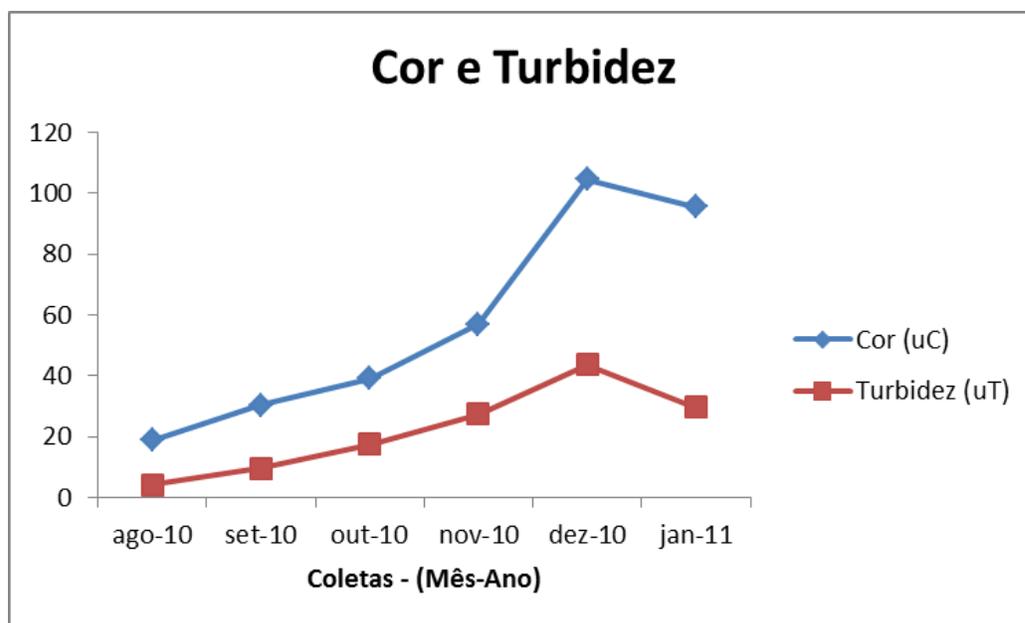


FIGURA 18 – Variação temporal da cor e turbidez nas coletas da água bruta

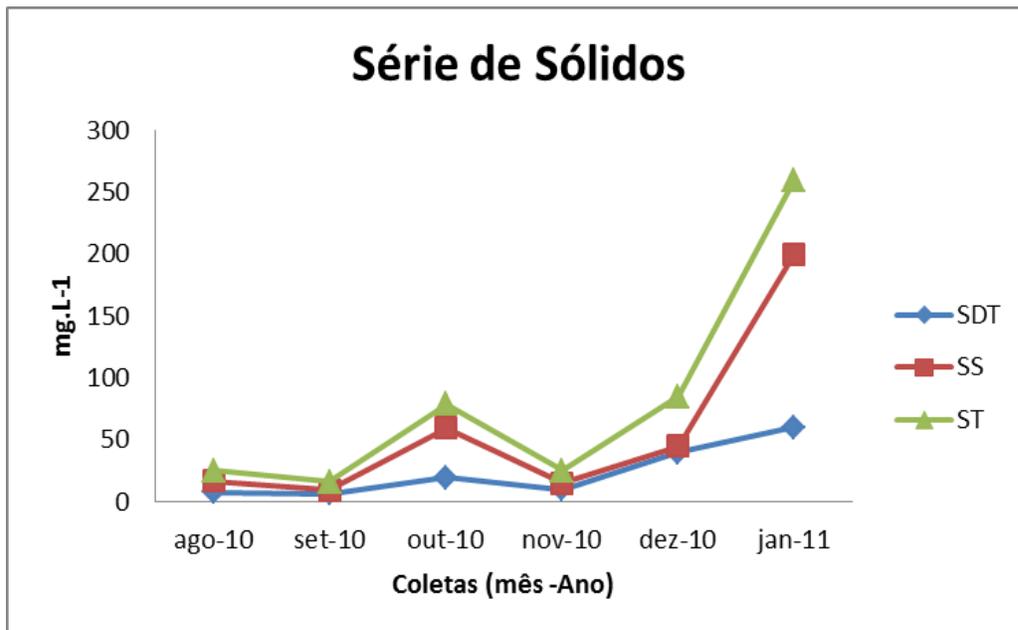


FIGURA 19 – Variação dos sólidos totais (ST), sólidos suspensos (SS) e sólidos dissolvidos totais (SDT) nas coletas da água bruta.

4.2. Caracterização dos resíduos gerados na ETA de Anápolis

4.2.1. Caracterização do lodo do decantador da ETA de Anápolis

A caracterização do lodo do decantador (Tabela 13) realizada de agosto de 2010 a janeiro de 2011, onde, agosto– período seco, setembro e outubro – período de transição e novembro a janeiro – período de chuva.

TABELA 13 – Caracterização físico-química e bacteriológica do lodo do decantador, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011

Natureza da Análise	Parâmetro	Unidade	Data						Faixa
			Ago/10	Set/10	Out/10	Nov/10	Dez/10	Jan/11	
Físico-Química	Cor	uC	NR	NR	NR	NR	NR	NR	-
	Turbidez	uT	NR	NR	NR	NR	NR	NR	-
	Alcalinidade	mg.L ⁻¹	34,03	20,77	44,29	39,54	22,77	37,03	20,8 – 44,3
	Acidez	mg.L ⁻¹	6,50	14,50	14,25	16,75	11,75	13,50	6,5 – 16,8
	Condutividade	mS.cm ⁻¹	146,50	80,71	155,00	75,55	143,50	150,50	75,5–155,0
	OD	mg.L ⁻¹	7,90	6,65	0,00	0,00	7,80	0,00	0,0 – 7,9
	DQO	mg.L ⁻¹		2.671,53	2.692,49	2.975,40	2.720,15	2.786,75	2.671 – 2975,0
	SDT	mg.L ⁻¹	415,50	116,50	697,60	290,00	175,00	150,00	116,5 – 697,6
	SS	mg.L ⁻¹	1.391,5	3.148,50	25.154,9	10.090,0	3.805,00	17.725,	1.391,5–17.725
	ST	mg.L ⁻¹	1.807,0	3.265,00	25.852,5	10.380,0	3.980,00	17.875,	1.807 – 17.875
	SSed.	mL.L ⁻¹	410,00	705,00	980,00	857,50	745,00	855,00	410,0 – 980,0
	IS	mL.min ⁻¹	9,70	1,52	0,17	2,35	6,91	4,30	0,2 – 9,7
	IVL		513,47	302,53	39,55	91,67	210,91	49,08	39,55 – 513,47
	IDL		0,19	0,33	2,53	1,09	0,47	2,04	0,2 – 2,5
	Aluminio	mg.L ⁻¹	513,00	212,00	1.145,00	NR	NR	NR	212,0 – 1.145,0
	Ferro	mg.L ⁻¹	530,00	175,00	1.167,00	NR	NR	NR	175,0 – 1167,0
	Manganês	mg.L ⁻¹	10,10	0,11	43,00	NR	NR	NR	0,1 – 43,0
	pH		7,25	7,19	6,84	8,10	6,59	7,60	6,6 – 8,1
	Temperatura	°C	18,50	23,00	24,00	22,10	22,85	23,15	18,5 – 24,0
	Bacteriológica	Coliformes Totais	NMP.(10 ⁰ mL) ⁻¹			127,40	116,60	177,30	120,10
Coliformes E.coli		NMP.(10 ⁰ mL) ⁻¹			0,00	17,80	0,00	31,60	0,0 – 31,6

De acordo com a resolução do CONAMA nº 357, todo efluente disposto em um curso d'água deve estar dentro dos parâmetros para lançamento (Tabela 14). O lodo caracterizado não pode ser despejado em nenhum corpo d'água sem tratamento prévio, pois não atende todas as exigências da resolução, como por exemplo, materiais sedimentáveis e ferro.

TABELA 14 – Comparação dos parâmetros do lodo do decantador com os padrões exigidos pela legislação para lançamento de efluentes

Parâmetro	Água Bruta	CONAMA nº 357
H	7,22	5,0 a 9,0

Temperatura (°C)	23	< 40
Materiais sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	800	Até 1
Ferro (mg.L ⁻¹)	500	15

Comparando os resultados obtidos com outros estudos realizados anteriormente, verificou-se que o lodo da ETA de Anápolis se encontra compatível com os das ETA estudadas (Tabela 15). De acordo com Cordeiro (1993), a quantidade de sólidos sedimentáveis pode inviabilizar o lançamento dos resíduos, pois pode transgredir o artigo 22 da Resolução do CONAMA nº 20 /1986.

TABELA 15 – Comparação dos valores dos parâmetros do lodo do decantador na ETA – Anápolis com outros estudos.

Autor/Ano	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	pH	ST (mg.L ⁻¹)	SV (%)	SS (%)
Neubauer (1968)	30 a 150	500 a 15.000	6,0 a 7,6	1.100 a 16.000	20 a 30	-
Sutherland (1969)	100 a 232	669 a 1.100	7,0	4.300 a 14.000	25,0	80
Bugg (1970)	380	1.162 a 15.800	6,5 a 6,7	4.380 a 28.580	20,0	-
Albrecht (1972)	30 a 100	500 a 10.000	5,0 a 7,0	3.000 a 15.000	20,0	75
Cup (1974)	40 a 150	340 a 5.000	7,0	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2.300	-	10.000	30,0	-
Singer (1974)	30 a 300	30 a 5.000	-	-	-	-
Cordeiro (1981)	320	5.150	6,5	81.575	20,7	-
Vidal (1990)	449	3.487	6,0 a 7,4	21.972	15,0	-
Vidal (1990)	173	1.176	6,7 a 7,1	6.300	73,0	-
Cordeiro (1993)	-	5.600	6,4	30.275	26,3	-
Patrize (1998)	-	-	5,55	6.112	19,0	-
Patrize (1998)	-	-	6,8	6.281	-	-
ETA – Anápolis (2011)	-	2.671 a 2.975	6,6 a 8,1	7.180	-	96,8

O índice de sedimentabilidade (IS), ou velocidade de sedimentação do lodo, foi facilmente decantável em ago/10 e dez/10, sendo iguais a 9,70 e 6,91 mL.min⁻¹, respectivamente. Enquanto que a velocidade de sedimentação do lodo nos demais dias de coleta situou-se na faixa de 0,17 a 4,33 mL.min⁻¹ (Figura 20 e 21). O IS parece estar diretamente relacionado ao SDT da água de lavagem dos filtros, uma vez que uma decantação rápida, parece dificultar a passagem de sólidos

dissolvidos para a próxima etapa do tratamento, que é a filtração. Em contra partida, se a velocidade de sedimentação for lenta, acarretará maior SDT na água de lavagem dos filtros.

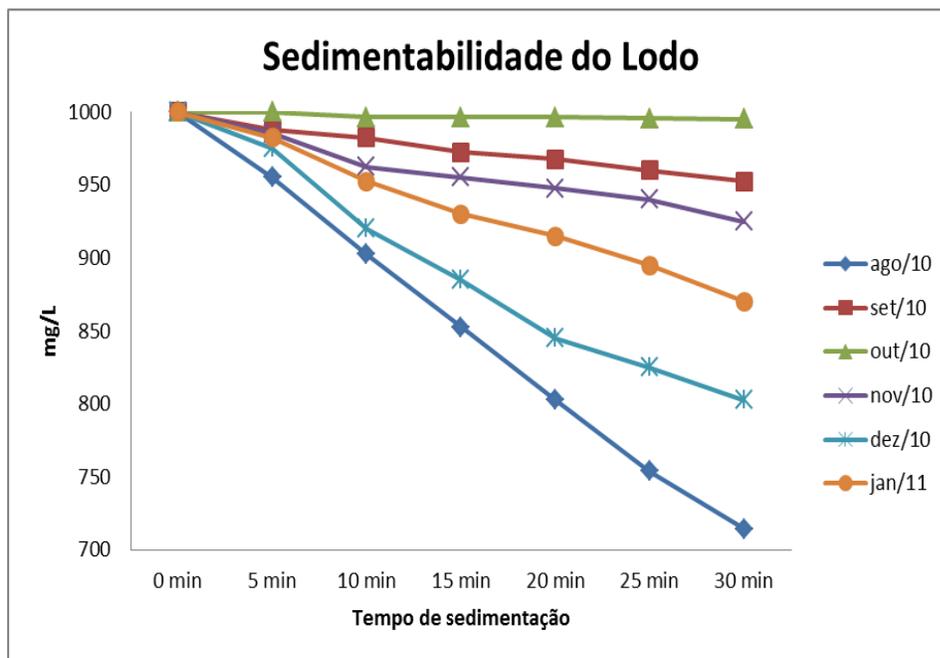


FIGURA 20 – Variação temporal da sedimentabilidade do lodo da ETA de Anápolis

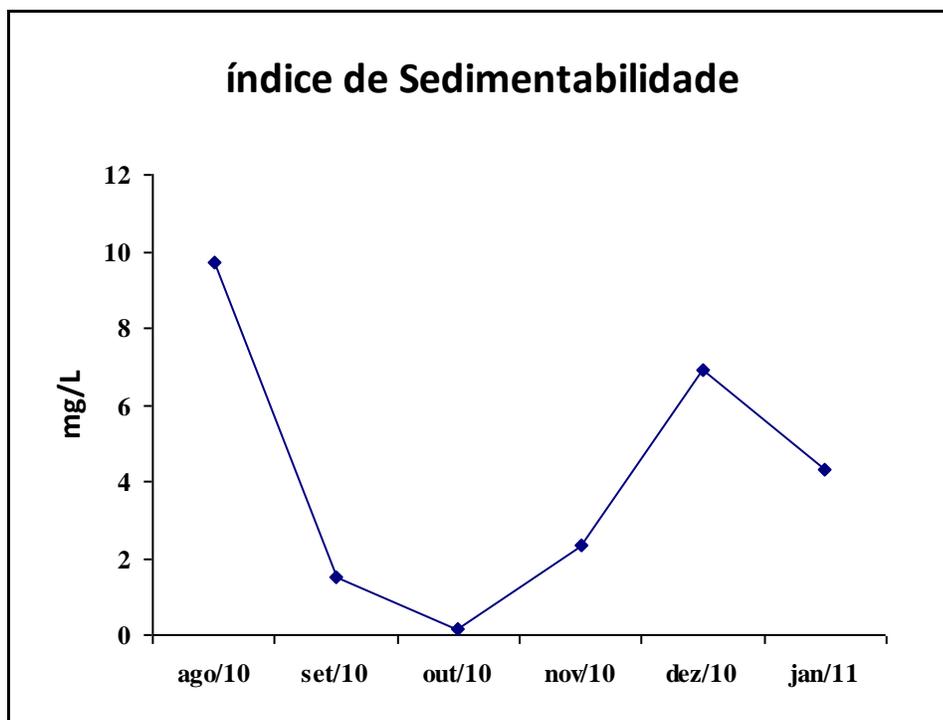


FIGURA 21 – Variação temporal dos índices de sedimentabilidade do lodo da ETA de Anápolis

O índice volumétrico de lodo (IVL), ainda, índice de Mohlman (IM) é o volume em mL que ocupa 1 g de lodo depois de sedimentar por 30 min (SILVA, 1977). Verificou-se que o IVL teve o mesmo comportamento do índice de sedimentabilidade do lodo, cujo valor médio no período estudado foi de 151,3. Isto significa que em média 1 g de lodo do decantador estudado ocupa 151,3 mL. Os IVL mais baixos ocorreram em out/10 e jan/11, com valores de aproximadamente 39,6 e 49,1, respectivamente, em período de chuva. E o maior valor de 513,5 ocorreu em ago/10, em época de estiagem (Figura 22). Levando a intuir que os flocos mais densos e possivelmente mais finos são formados no período chuvoso.

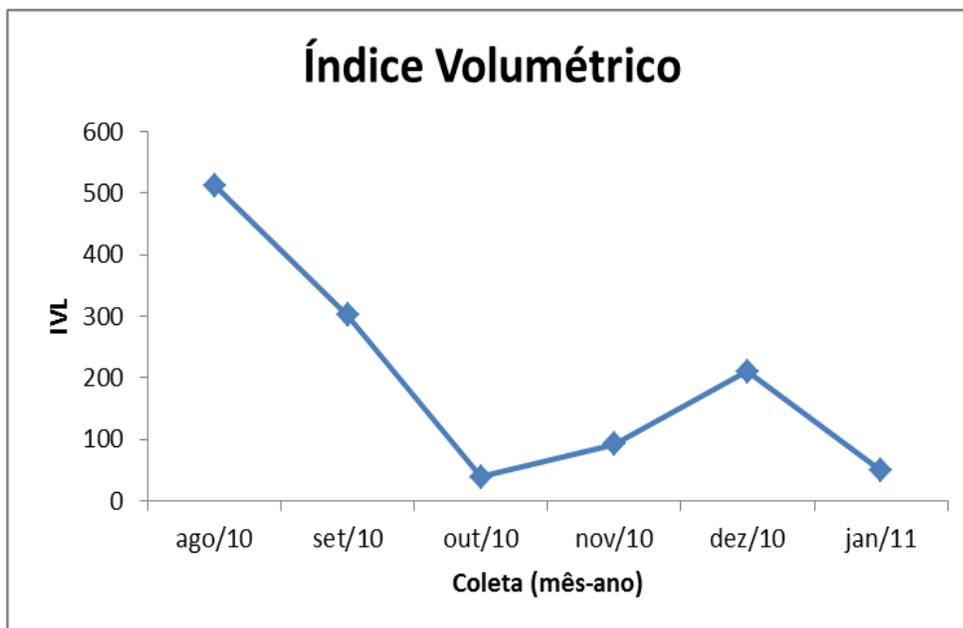


FIGURA 22 – Variação temporal do índice volumétrico do lodo (IVL) da ETA de Anápolis

Uma explicação plausível para o valor do IVL do mês de janeiro ter-se elevado, deve ser pelo fato de que a incidência de chuvas nos meses de novembro e janeiro ter diminuído. Deve existir uma relação entre a massa específica dos flocos formados, o tipo de sujidades carregadas pelas primeiras chuvas após um período de poucas chuvas, e o sulfato de alumínio adicionado. Sabe-se pela rotina operacional da ETA de Anápolis, que no período de seca, quando a água bruta está menos turva, a eficiência do tratamento diminui; enquanto que, no período chuvoso, a eficiência do tratamento é maior, uma vez que a água se encontra mais turva.

Os maiores IDL de 2,5 e 2,0 ocorreram em out/10 e jan/11, respectivamente, época de incidência de chuvas logo após um período na ausência de chuvas, indicando a melhor qualidade do lodo em termos de sedimentabilidade. Sendo assim, a concentração percentual média de sólidos que o lodo assume depois de sedimentado em 30 min é cerca de 89 % no período chuvoso e em torno de 33 % na época de seca (Figura 23).

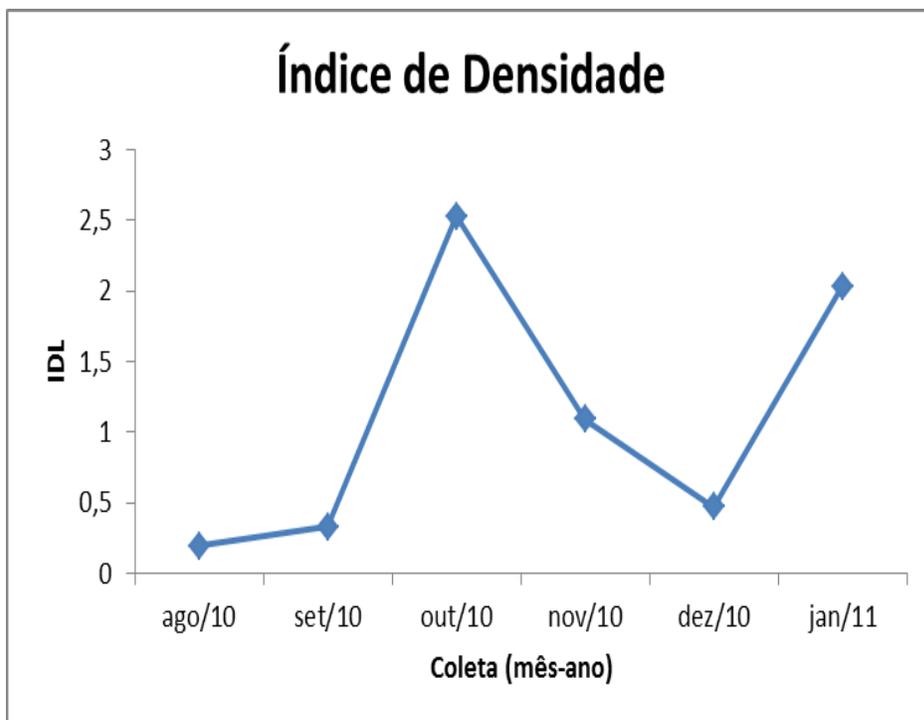


FIGURA 23 – Variação temporal do índice de densidade do lodo (IDL) da ETA de Anápolis

4.2.2. Caracterização da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis

A caracterização da água de lavagem do filtro (Tabela 16) realizada de agosto de 2010 a janeiro de 2011, onde, agosto – período seco, setembro e outubro – período de transição e novembro a janeiro – período de chuva.

TABELA 16 – Caracterização físico-química e bacteriológica da água de lavagem do filtro, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011.

Natureza da Análise	Parâmetro	Unidade	Data						Faixa
			Ago/10	Set/10	Out/10	Nov/10	Dez/10	Jan/11	
Físico-Química	Cor	uC	NR	NR	NR	NR	NR	NR	-
	Turbidez	uT	65,50	104,00	123,50	57,40	158,90	132,50	57,4 – 158,9
	Alcalinidade	mg.L ⁻¹	16,51	14,01	11,76	12,26	9,51	12,51	9,51 – 16,51
	Acidez	mg.L ⁻¹	7,50	10,50	13,00	13,25	10,25	9,00	7,5 – 13,25
	Condutividade	mS.cm ⁻¹	33,65	53,43	26,59	28,65	50,50	53,50	28,65 – 53,5
	OD	mg.L ⁻¹	8,00	7,90	7,60	6,50	12,55	12,95	6,5 – 12,95
	DQO	mg.L ⁻¹	NR	6,25	67,02	23,01	16,72	0,00	0,0 – 67,02
	SDT	mg.L ⁻¹	38,00	101,00	35,50	75,00	25,00	90,00	25,0 – 101,0
	SS	mg.L ⁻¹	110,50	127,00	127,50	85,00	215,00	250,00	85,0 – 250,0
	ST	mg.L ⁻¹	148,50	228,00	163,00	160,00	240,00	340,00	148,5 – 340,0
	Alumínio	mg.L ⁻¹	12,50	17,09	11,00	NR	NR	NR	11,0 – 17,09
	Ferro	mg.L ⁻¹	11,00	15,40	14,90	NR	NR	NR	11,0 – 15,4
	Manganês	mg.L ⁻¹	0,12	0,39	0,10	NR	NR	NR	0,1 – 0,4
	pH		6,35	7,47	6,66	7,62	7,73	6,98	6,35 – 7,73
	Temperatura	°C	18,00	23,00	24,50	21,95	23,40	23,15	18,0 – 24,5
Bacteriológica	Coliformes Totais	NMP.100 mL ⁻¹	NR		14,80	15,50	4,10	8,50	4,1 – 15,5
	Coliformes E.coli	NMP.100 mL ⁻¹	NR		0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

A turbidez apresentou tendência crescente na água de lavagem de filtro do período que se estende da seca para chuva, indicando o aumento de partículas de natureza inorgânica, como siltes, argila e areia. A resolução Conama n° 357 define que a turbidez máxima de rios de classe 2 é até 100 uT. Apesar da turbidez da água bruta no período chuvoso ter alcançado um máximo de 43,8 uT, no mês de dezembro de 2010, abaixo do valor limite imposto pela legislação, a turbidez da água de lavagem de filtro nesta época do ano, chegou a um valor máximo de 158,9 uT (Figura 24). Portanto, a possibilidade de recircular a água de lavagem dos filtros ao início do tratamento, deve ser mais bem avaliado nos períodos chuvosos, bem como seu lançamento nos corpos de água receptores. Também cabe avaliar a eficiência dos processos de tratamento anteriores à filtração.

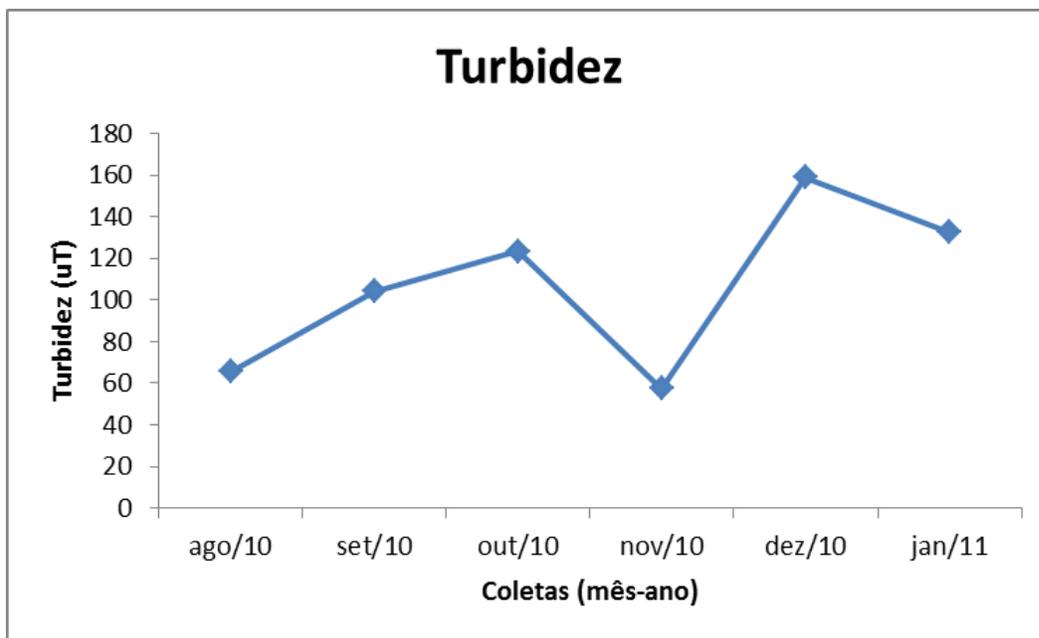


FIGURA 24 – Variação temporal da turbidez da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis

Os sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos (SS) e sólidos totais (ST) variaram na faixa de 25 a 340,0 mg.L⁻¹, ocorrendo uma tendência de baixos valores no período de ausência de chuvas, em relação às primeiras chuvas e ao período chuvoso. Os SS ocorrem sempre em maior quantidade que os SDT. A ETA de Anápolis está trabalhando com uma vazão maior (média de 890 L.s⁻¹) que a projetada (800 L.s⁻¹), sobrecarregando os processos de floculação, decantação, deixando uma parte dos sólidos para serem removidos durante a filtração, o que leva a uma quantidade elevada de sólidos e essa variação como, por exemplo, os ST (variação de 140 a 340 mg.L⁻¹) (Figura 25).

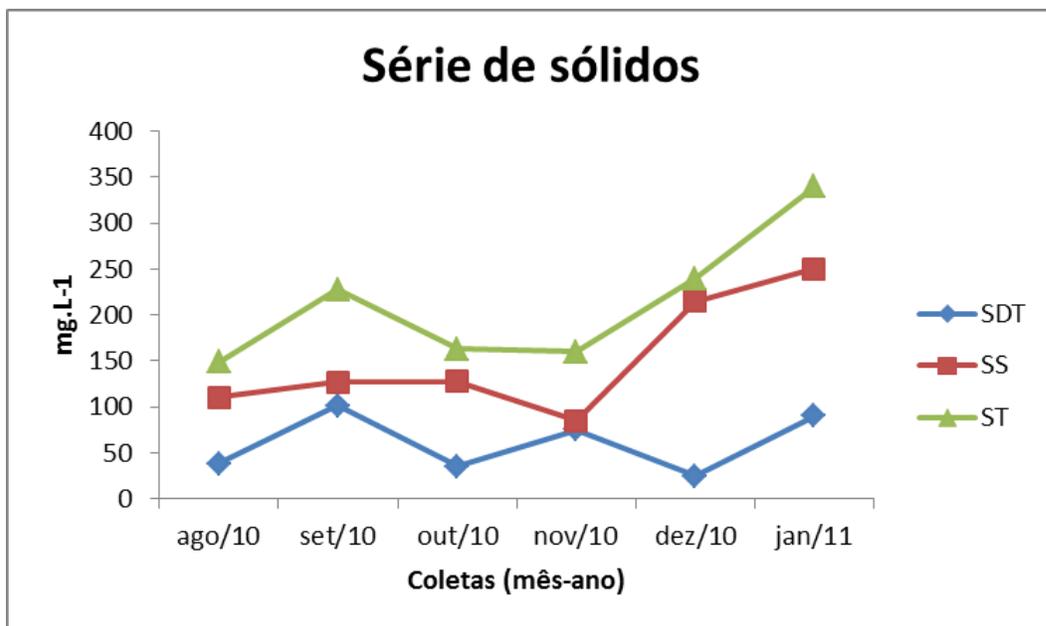


FIGURA 25 – Variação temporal da série de sólidos da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis

Os metais ferro (Fe) e alumínio (Al) apresentaram valores considerados altos para o período de estiagem (Figura 26), o que significa que a decantação não está sendo tão eficaz, carregando para os filtros, flocos que deveriam ter decantado. Outro parâmetro que deve ser utilizado como comparação é a turbidez, pois quanto maior a turbidez, maior a quantidade de coagulante utilizado, mais flocos são formados, podendo diminuir a eficiência do decantador. Com a turbidez muito elevada aproximadamente acima de 100 uT, utiliza-se como auxiliar de floculação os polieletrólitos, o que justifica a diminuição destes metais na terceira coleta em que a turbidez está acima de 10 uT. Já o manganês não apresentou variação representativa.

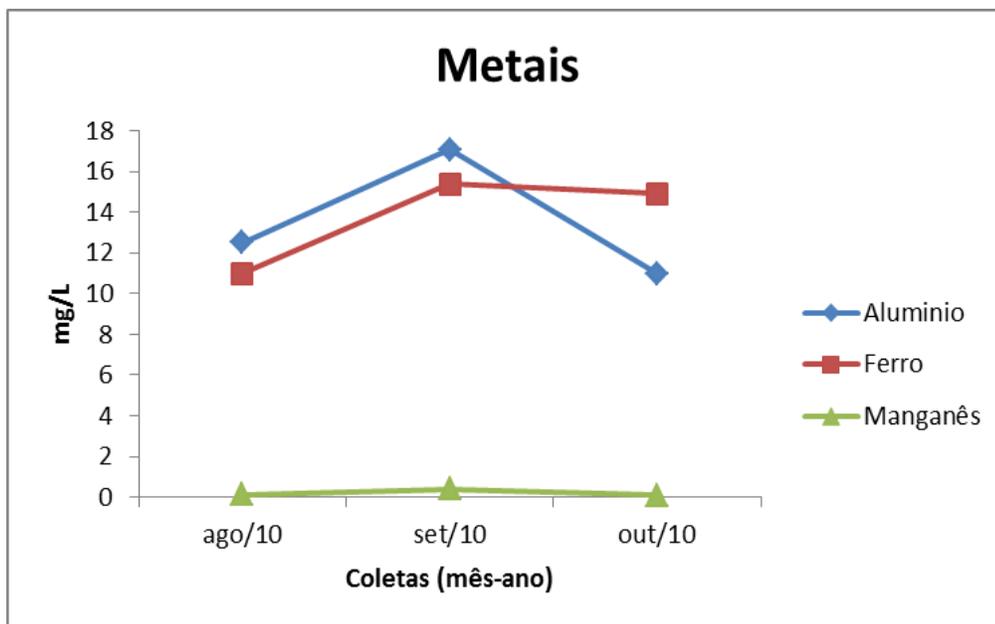


FIGURA 26 – Variação temporal dos metais (alumínio, ferro e manganês) da água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis

Contudo, uma das opções para a água de lavagem dos filtros, que consome um grande volume de água seria o seu retorno ao início do tratamento juntamente com a água bruta, para tal, é necessário que ela atenda as especificações dos parâmetros exigidos na resolução do CONAMA nº357 (Tabela 17). Parâmetros como SDT, OD e coliformes se encontraram nesta caracterização em conformidade com a resolução, mas turbidez, alumínio e ferro, estão acima do permitido, podendo também atrapalhar o processo influenciando na eficiência das etapas do tratamento. É necessário que se garanta a eficiência de todos os processos de tratamento para que estes parâmetros possam ser reduzidos e a água de lavagem dos filtros seja então reutilizada.

TABELA 17 – Comparação da média de alguns parâmetros da água de lavagem da ETA de Anápolis com os parâmetros água de classe 2.

Parâmetro	Água de lavagem	Água de classe 2*
pH	7,29	6,0 a 9,0
Turbidez (uT)	113,75	Até 100
OD (mg.L ⁻¹)	7,85	> 5
SDT (mg.L-1)	56,5	500
Alumínio (mg.L-1)	12,5	0,1
Ferro (mg.L-1)	14,9	0,3
Coliformes Totais	10,73	1000

(NMP.(100 mL)⁻¹)

* Resolução nº 357 / 2005 do CONAMA

4.3. Avaliação conjunta das características dos resíduos da ETA Anápolis

A Figura 27 ilustra a variação da demanda química de oxigênio (DQO) na água bruta, no lodo e na água de lavagem dos filtros. Verifica-se que a DQO da água de lavagem é sempre baixa, tendo seu maior pico em out/10, podendo ser comparado com a DQO do lodo que teve como um dos seus valores mais baixos, isto é, neste mês houve um carreamento para o filtro de uma quantidade maior de matéria orgânica. Já a água bruta em nov/10 trouxe em sua composição uma quantidade maior de compostos orgânicos, o que pode ter influenciado no maior valor de DQO do lodo.

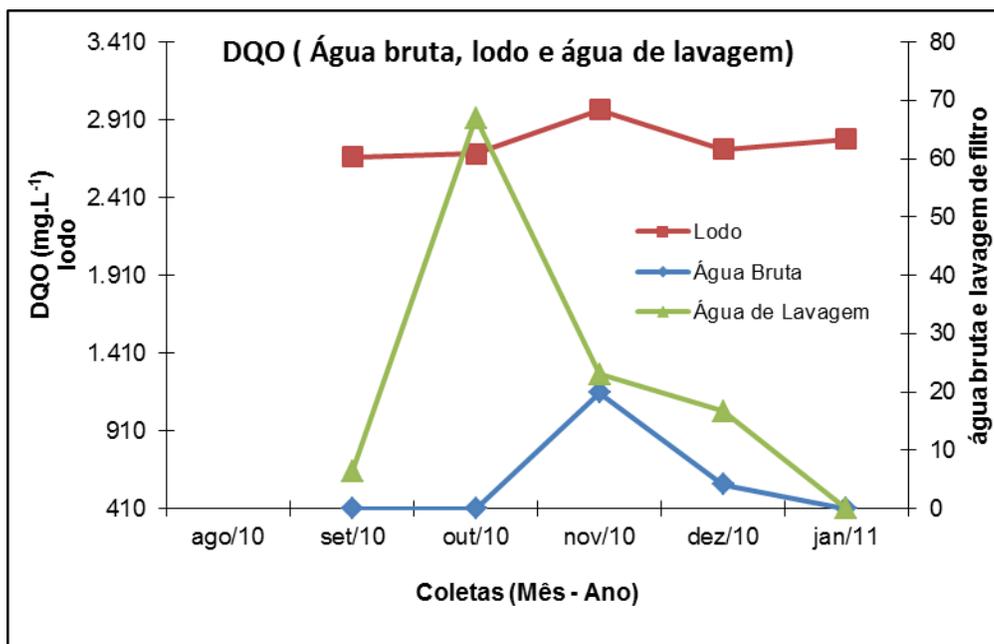


FIGURA 27 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de DQO na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.

Com os gráficos da Figura 28 e 29, Verifica-se que a alta presença de alumínio e ferro na água de lavagem do filtro no mês de set/10 e a baixa quantidade no lodo do decantador dos mesmos também em set/10, mostra que os metais não se precipitaram totalmente no decantador, ficando retido no filtro, o que pode se tornar um problema se esta água retornar ao início da estação para tratamento, exigindo um maior cuidado com a eficiência dos decantadores.

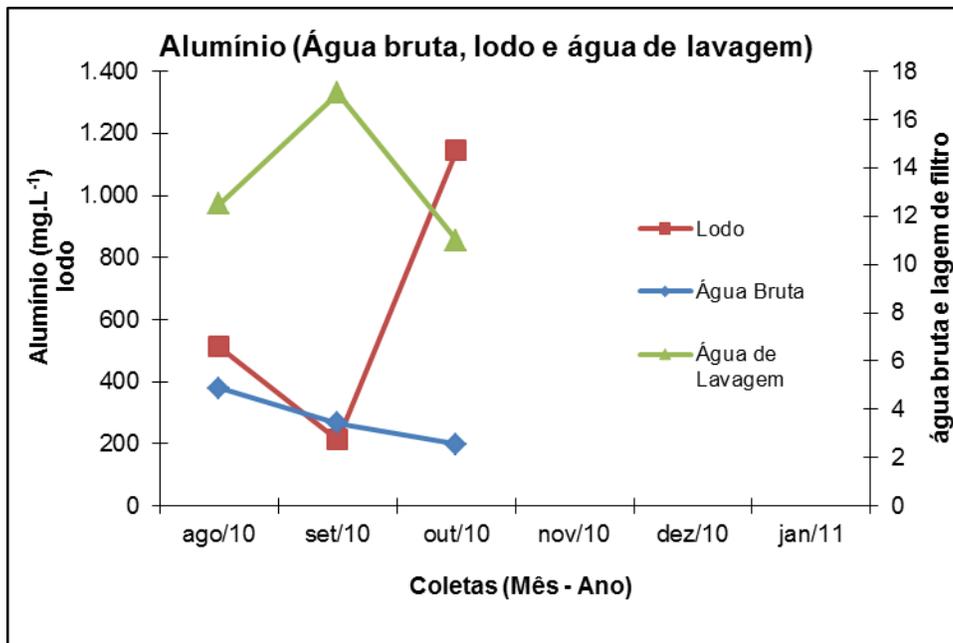


FIGURA 28 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de alumínio na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.

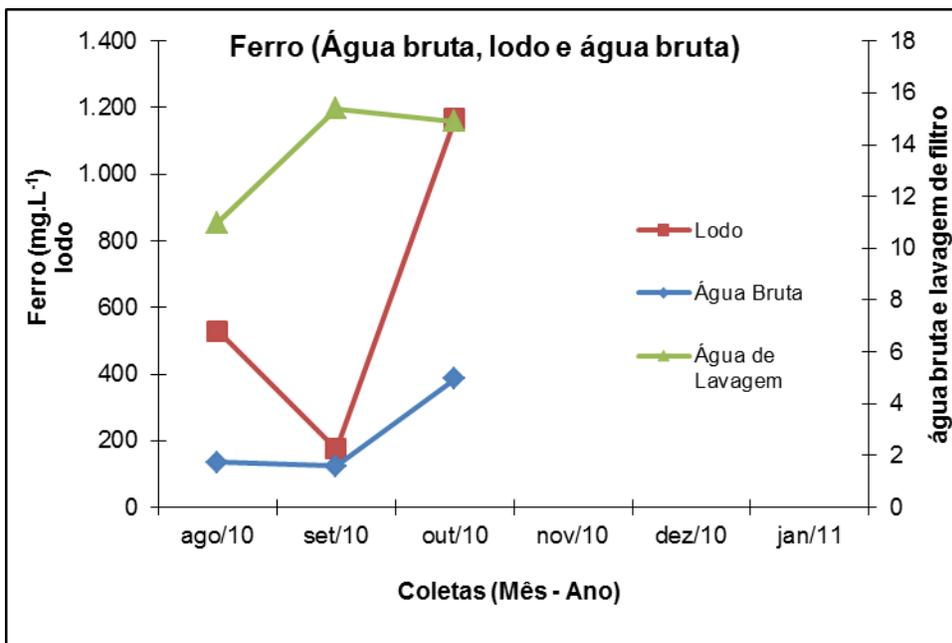


FIGURA 29 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de ferro na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.

A mesma comparação pode ser realizada com a série de sólidos (Figura 30) entre o lodo do decantador e a água de lavagem do filtro, quanto maior a quantidade de sólidos presentes no lodo menor será a quantidade na água de lavagem e vice e versa. O comportamento da água bruta

demonstra que os sólidos possuem a tendência de crescimento do período de seca para chuva, pois quando ocorrem às chuvas existe a probabilidade de a água bruta carregar consigo uma quantidade maior de sólidos.

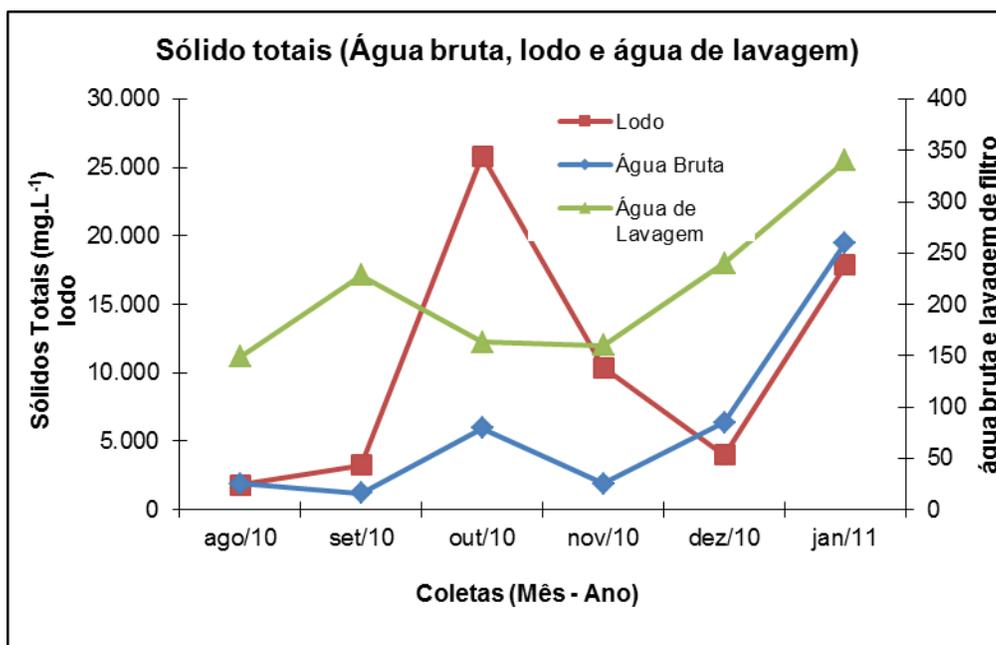


FIGURA 30 – Comparação entre as variações temporais das concentrações de sólidos totais na água bruta, lodo e água de lavagem do filtro da ETA de Anápolis.

Pode-se verificar na Figura 31 que o índice de sedimentabilidade do lodo (ISL) está diretamente relacionado aos sólidos dissolvidos totais (SDT) da água de lavagem dos filtros, pois quanto maior a velocidade de decantação do lodo no decantador, menor será a quantidade dos SDT que para a etapa de filtração, pois a alta velocidade de decantação reduz a passagem de SDT para os filtros. Em contra partida, se a velocidade de sedimentação for lenta, acarretará maior SDT na água de lavagem dos filtros.

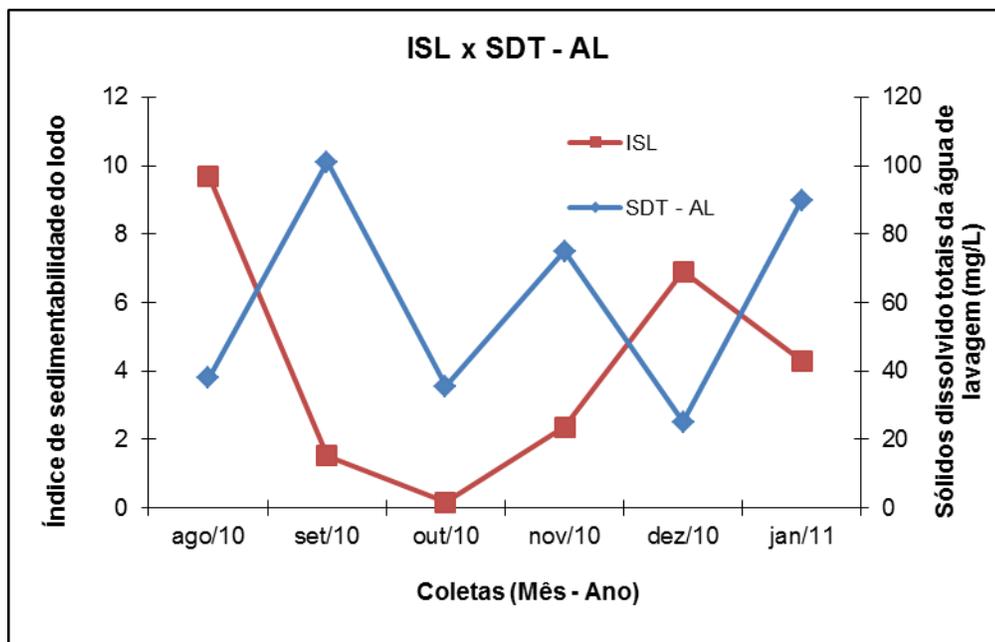


FIGURA 31 – Variação temporal do IS do lodo e os sólidos dissolvidos totais da água de lavagem

Deve-se também considerar a resolução Conama n° 357 que o artigo 24 discorre que efluente de qualquer fonte poluidora não poderá ser lançado em corpos d'água a não ser que atendam aos padrões de emissão de efluentes, como por exemplo, materiais sedimentáveis (SSed) que não pode ultrapassar a 1 mL.L^{-1} , outro exemplo é a quantidade de Ferro que é até 15 mg.L^{-1} ; sendo necessário que se trate o lodo do decantador para então dispor da maneira correta.

4.4. Quantificação dos resíduos da ETA Anápolis

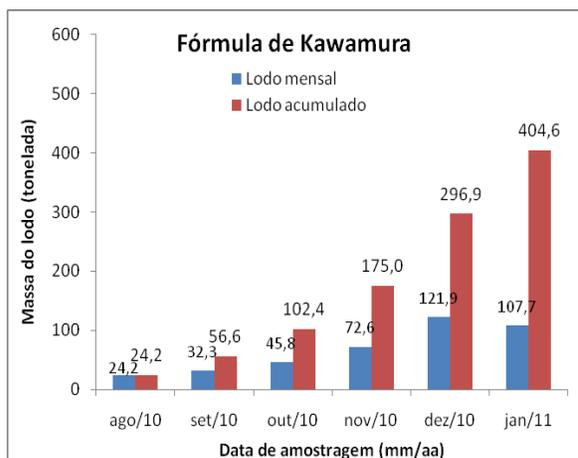
4.4.1. Quantificação do lodo por equações empíricas

A quantificação da massa do lodo gerado nos decantadores foi estimada utilizando-se as fórmulas empíricas devido à inexistência de equipamento medidor de vazão na saída das tubulações de descarga dos decantadores. Cinco equações racionais dos autores Kawamura, Cornwell, WRC, AWWA e Richter foram utilizadas. Essas fórmulas empregaram os valores médios de turbidez e cor da água bruta e o volume de água tratada diário, obtidos por análises das amostras coletadas e dados operacionais da estação relativas aos períodos de coletas.

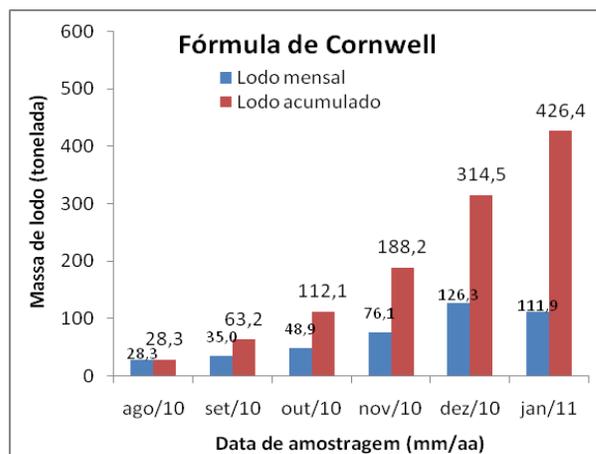
Foi calculada a massa do lodo gerada, diária e mensalmente, para que se pudesse prever a quantidade de lodo gerada em cada mês, no período de agosto de 2010 a janeiro de 2011, e a

massa acumulada. Estes cálculos e estimativas poderão servir de base para futuros estudos sobre tratamento e disposição do lodo da ETA de Anápolis.

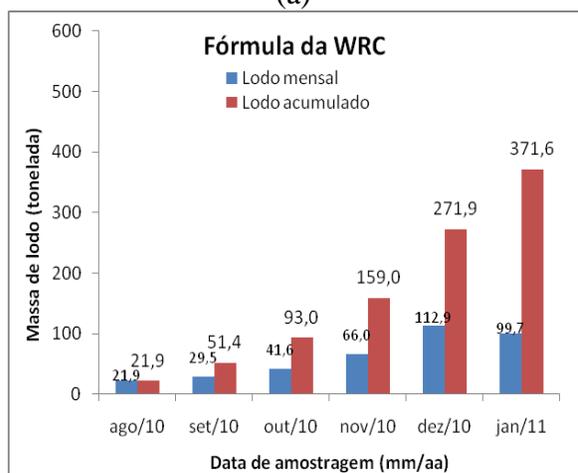
A Figura 32 apresenta a estimativa de massas de lodo produzidas por mês e as massas acumuladas no período de agosto/2010 a janeiro/2011 na ETA de Anápolis.



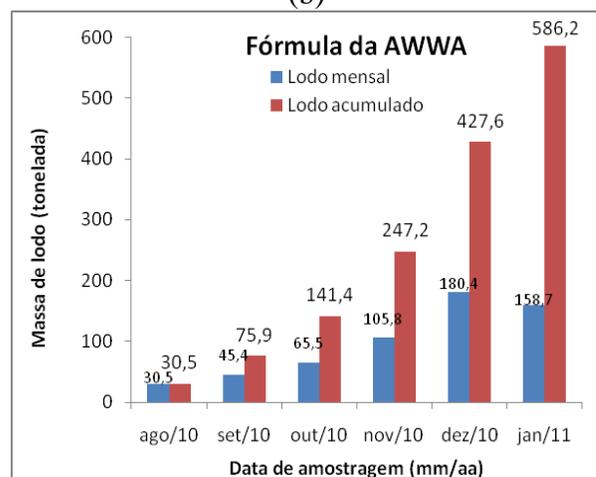
(a)



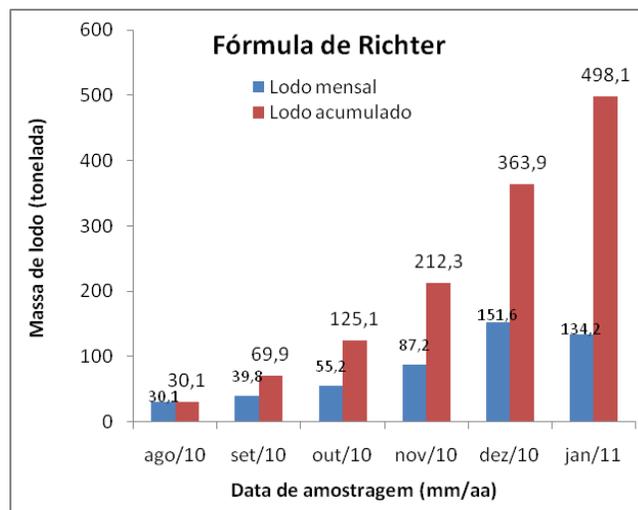
(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURA 32 – Massa de lodo produzida de ago./2010 a jan./2011, segundo as fórmulas racionais apresentadas por: (a) Kawamura, (b) Cornwell, (c) WRC, (d) AWWA e (e) Richter.

Observa-se que o mês de dezembro de 2010 foi o que mais produziu lodo, enquanto que o mês de agosto de 2010 foi o mês de menor geração de lodo. Os resultados mostram que os períodos de pouca chuva a água bruta se apresenta com menor quantidade de impurezas, ocasionando, por conseguinte, um menor consumo de produtos químicos durante o processo de tratamento, gerando menor quantidade de lodo para disposição final.

Verifica-se que as estimativas das massas de lodo geradas em um período de seis meses, por diferentes equações racionais, apresentaram resultados distintos, com um valor mínimo de aproximadamente 372 toneladas (fórmula da WRC), um valor máximo cerca de 582 toneladas (fórmula da AWWA) e uma média em torno de 426 toneladas.

4.4.2. Quantificação dos resíduos gerados em relação ao volume de água tratada

Segundo Castro et al. (1997) a vazão média de resíduos gerados em uma ETA se encontra na dentro de 1 a 3 % do volume tratado. Na ETA de Anápolis os valores encontrados correspondem ao percentual dos resíduos gerados em relação ao volume de água tratada em torno de 1,75 %. O volume de água utilizada para lavagem de cada filtro varia de 120 a 170 m³, sendo um total de oito os filtros, totalizando um volume de 1.200 m³ diários (Tabela 18).

TABELA 18 – Quantificação volumétrica da água de lavagem e do lodo do decantador em função do volume de água tratada na ETA de Anápolis

Tipo de Resíduo	Volume diário de resíduo produzido (m³)	Volume total/anual (m³)	Volume de água tratada - anual (m³)	Percentual do resíduo (%)	Percentual dos resíduos em relação ao volume de água tratada (%)
Água de lavagem dos filtros	1.200,00	438.000,00	25.066.192,50	99,7	1,747
Lodo do decantador	3,58	1305,7		0,3	0,005

Observa-se que de todo o resíduo gerado, cerca de 99,7 % é de água de lavagem, isso ocorre devido a ETA estar trabalhando acima da vazão de projeto, sobrecarregando os filtros para conseguirem manter o padrão de potabilidade da água, gerando então um volume maior de água de lavagem. Justifica-se a importância de se retornar a água de lavagem para o início da estação para tratamento e reaproveitamento.

5. CONCLUSÕES

- A alcalinidade aumentou no lodo do decantador, em períodos de chuva podendo estar relacionada ao aumento de bicarbonatos e carbonatos, podendo reduzir a adição de cal na caixa de recepção da água bruta;

- A quantidade de alumínio e ferro no lodo é superior a permitida pela Resolução Conama nº 357 de 2005 para disposição de efluentes em corpos d'água, assim como os sólidos sedimentáveis;

- Os valores do índice volumétrico do lodo, nos períodos de chuva, demonstra que os flocos mais densos são formados.

- A turbidez foi elevada na água de lavagem do filtro, principalmente nos períodos de chuva, dificultando a sua reutilização na própria ETA;

- Alguns parâmetros, metais (alumínio e ferro), sólidos totais, sólidos suspensos e a turbidez, apresentaram valores elevados. Como a ETA está trabalhando sobrecarregada, acima da sua vazão de projeto, podemos concluir que as etapas que precedem a filtração não estão atingido eficiência suficiente para impedir a passagem de metais, sólidos e outras substâncias para o filtro.

- A quantificação do lodo do decantador determinado por meio das equações empíricas de Kawamura, Cornwell, WRC, AWWA e Richter indicou que os valores mínimo, médio e máximo a ser considerado na concepção de um projeto de tratamento do lodo da ETA Anápolis são de aproximadamente 372, 426 e 582 toneladas, respectivamente.

- Verificou-se através da quantificação da água de lavagem de filtro por meio de medidor de vazão ultrassônico que diariamente são gastos 1200 m³ de água potável para a lavagem dos filtros, que consiste na maior parte dos resíduos gerados na ETA, cerca de 99,7%.

6. RECOMENDAÇÕES

Por se tratar de um estudo precursor dos resíduos da ETA Anápolis, recomendam-se novas pesquisas relacionadas à:

- Metodologia para determinação da vazão do lodo, enquanto não se instala equipamento ideal, para calcular o volume real do lodo gerado;
- Estudo de classificação do lodo pela NBR 10004/2004;
- Possibilidades de tratamento e disposição para o lodo;
- Verificação da possibilidade de recuperação do sulfato de alumínio, para utilização como coagulante novamente ou outras aplicações;
- Determinação da quantidade mínima de água potável necessário à lavagem de um filtro em dois períodos climatológicos, de seca e chuva;
- Recuperação dos resíduos que representam maior volume e perda de água, isto é, da água de lavagem dos filtros;
- Buscar alternativas para redução na geração dos resíduos, como investimentos em melhorias nos processos de tratamento ou em novas tecnologias;
- Recomenda-se a garantia da eficiência destas etapas, para isso já existe um projeto de ampliação da ETA-Anápolis.
- Deve ser instalado algum método de controle de vazão do lodo dos decantadores, como por exemplo, uma calha Parshall na canaleta de descarga de lodo para exata determinação das vazões mínimas, médias e máximas de lodo para fins de monitoramento rotineiro da estação.

7. REFERÊNCIAS

ANDRIOLI, C. V. (Coord.) **Resíduos sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição final.** Rio de Janeiro: ABES, 2001, 282p. (Projeto PROSAB)

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington. EUA. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 10.004:** Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004(a), 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 10.005:** Lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro, 2004(b), 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 9898:** Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987, 22p.

AVELINO, F. F.; NUNES, L. M. S.; REBOUÇAS, G. P.; PÁDUA, V. L. **Influência da Concentração do Coagulante e da Qualidade do Solvente na Coagulação visando o Tratamento de Água por Filtração Direta.** In. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais eletrônicos I-066, 2003.

AWWA- American Water Works Association. **Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies.** McGraw-Hill, 5 ed. EUA. 1999.

AZEVEDO NETTO, J. M., MANFRIN, C.; CAMPOS, J. R.; et al **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água.** Volume 2 – Tratamento de Água. 3 ed. CETESB. São Paulo, SP, 1987.

BARROSO, M. M. . **Gerenciamento de resíduos gerados no tratamento de água.** Engenharia Ambiental-UNIR, 2009.

BASTOS, R. K. X., OLIVEIRA, D. C.; FREITAS, A. G.; NASCIMENTO, L. E. Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água antes e depois de intervenções de melhoria. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.23, 2005. Campo Grande-MS, **Anais eletrônicos.** Rio de Janeiro: ABES, 2005. (CDROM).

BASTOS, R. K. X; BEZERRA, N. R.; BEVILACQUA, P. D.; Planos de segurança de água: Novos paradigmas em controle de qualidade de água para consumo humano em nítida consonância com a legislação brasileira. 24º Congresso Brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Belo Horizonte, MG. **Anais eletrônicos I-141,** 2007.

BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água,** v. 1 e 2. ABES, Rio de Janeiro, Brasil, 1993.

BERNARDO, L.; SABOGAL, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDibe Ltda. v. 1, 2008a.

BERNARDO, L.; SABOGAL, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDibe Ltda. v. 2, 2008b.

BERNARDO, L.; BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e de resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água**. Ed. RIMA. São Carlos-SP. 2002.

BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Ed RIMA. 2 ed. São Carlos – SP, 2005.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo, Cetesb. 1993.

BRASIL. **Lei 9433** - Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997, 15p.

BRASIL. **Portaria nº 518** - Normas e Padrão de Potabilidade das Águas Destinadas ao Consumo Humano. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2004, 15p.

BRASIL: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 357**. Ministério do Meio ambiente. Brasil, 2005, 23p.

CASTRO C.; CASTIGLIONI V. B. R.; BALLA A.; LEITE R. M. V. B. C.; KARAM D.; MELLO H. C.; GUEDES L.C. A.; FARIAS J. R. B. **Adução**. In: A cultura do girassol. Londrina – PR. Editora EMBRAPA, 1997. cap. 7 p 17 – 19.

CORDEIRO, J. S. **Disposição, tratabilidade e reuso de lodos de estações de tratamento de água**. (Dissertação de Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 1981, 155 p

CORDEIRO, J. S. **Micro Propriedades de Lodos Gerenciados em Decantadores de Estações de Tratamento de Água**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México, 2002.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. (Tese de Doutorado) SHS - EESC / USP . São Carlos, São Paulo. 1993, 342p.

CORDEIRO, J. S.; CAMPOS, J. R. - O impacto ambiental provocado pela indústria da água, **Revista Saneamento Ambiental**, São Paulo, n 56, 1999, p- 52-57,

CORNWELL, D. A. **Handbook of practice water treatment plant waste management**. American Water Works Association Research Foundation, Denver, 1 ed., Virginia, 1987, 431p.

CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C.. **Commercial application and marketing of water plant residuals**. Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation; American Water Works Association. 1999, 187p.

DACACH, N.G. - **Saneamento Básico**, Ed. LTC S.A., Rio de Janeiro, 1979.

DAYTON, E. A.; BASTA, N. T. **Characterization of drinking water treatment** Environment Federation, 2001.

FERREIRA, F. S. S.; SOBRINHO, P. A. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 3, n. 3 e 4, 1997.

FREITAS, J. G. **Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos gerados em estações de tratamento de água**. (Dissertação de mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

GRANDIN, S. R. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água**. (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992, 456p.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília**. (Dissertação de mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2002, 397p.

JAMES, C. R.; OMELIA, C. R. **Considering sludge production in the selection of coagulants**. *Jawwa*, Denver, v. 74, n.3, 1982, p. 148 – 151.

JULIO, M. ; NEVES, E. F. A. ; TROFINO, J. C. ; BERNARDO, L. . Emprego do reagente de fenton como agente coagulante na remoção de substâncias húmicas de água por meio da flotação por ar dissolvido e filtração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 260-268, 2006.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. Jonh Wiley & Sons, Inc., New York, E.U.A. 2000, 691p.

NEUBAUER, W. R. Waste alum sludges treatment. *JAWWA*, Denver, v.60, n.7, Jul, 1968, 819-826p.

OLIVEIRA, W. E. et.al. - **Técnica de Abastecimento de Água**, CETESB, 2 ed, São Paulo, 1978.

PORTELA, K. F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. **Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr**. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville-SC, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ANÁPOLIS. Memorial descritivo: Ampliação do SAA Anápolis, v.1. Abr. 2009. 120f. Disponível em: <<http://www.a.anapolis.go.gov.br/licitacao/adm/baixar/210410115617.pdf>>. Acessado em dezembro de 2010.

REALI, M. A. P. (Coord.) **Noções gerais de tratamento disposição finais de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999 (Projeto PROSAB)

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG.** (Dissertação de Mestrado) Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 2007, 133p.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodo de estação de tratamento de água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2001.

SANEAGO – Memorial Descritivo. v. 1, 2009. Disponível em: <<http://www.a.anapolis.go.gov.br/licitacao/adm/baixar/210410115617.pdf>>. Acessado em dezembro de 2010.

SANEP - **Tratamento de água.** Disponível em: <<http://www.pelotas.rs.gov.br/sanep/agua/tratamento.htm>>. Acessado em novembro de 2010.

SANTOS, I. J.; SOUZA, M. A. A.. **Reúso de água: Uma análise da adequabilidade da utilização das águas residuárias tratadas no Distrito Federal.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2001.

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 de Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1997, 220p.

SILVA, M. O. S. A. **Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgotos.** São Paulo: CETESB, 1977. 226p.

SECTEC – SIMEHGO. **Densidade pluviométrica de Anápolis.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <ruluchetti@gmail.com> em 24 de fevereiro de 2011.

SOARES, V. P., SANTOS, A. L. F., RIBEIRO, C. A. A. S, PEREIRA, L. S. **Mapeamento do uso da cobertura da terra na bacia do Rio Piancó-GO, utilizando-se de imagens do sensor AVNIR-2/ALOS.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN, 2009.

SOUZA, F. G. C.; CORDEIRO, J. S. **Resíduos gerados em estação de tratamento de água com descargas diárias.** 29º Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, San Juan, 22-27 ago, 2004.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Filter Backwash Recycling Rule.** USEPA, E.U.A, 2002., 166p.

VERAS, L. R. V. BERNARDO, L. **Tratamento de água de abastecimento por meio da filtração em múltiplas etapas** - FiME. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, 2008, p. 109-116.

ANEXOS

Anexo A. Quantificação dos resíduos da ETA de Anápolis

TABELA 19 – Produção da massa de lodo segundo Kawamura

Coleta	Turbidez da água bruta (uT)			Dosagem média de sulfato de alumínio (g/m ³)	Volume de água tratado diário (m ³)	Produção de lodo P=(1,5 . T + k.D)	Lodo diário (t)	Lodo mensal (t)
	Mín	Med	Máx					
Ago/10	4,8	6,2	7,4	9,0	71071,6	11,4	0,8	24,2
Set/10	10,2	11,0	12,0	7,0	59510,7	18,1	1,1	32,3
Out/10	10,0	15,2	20,1	7,8	62138,6	24,6	1,5	45,8
Nov/10	12,6	22,5	42,1	8,3	67974,0	35,6	2,4	72,6
Dez/10	30,9	36,6	40,7	9,8	71097,0	57,2	4,1	121,9
Jan/11	29,8	33,0	36,2	9,7	69375,0	51,7	3,6	107,7
Volume Total					401166,9	198,6	13,5	404,6

TABELA 20 – Produção da massa de lodo segundo Cornwell

Coleta	Turbidez da água bruta (uT)			Dosagem média de sulfato de alumínio (g/m ³)	Volume de água tratado diário (m ³)	Produção de lodo P=(0,44.DSA +1,5.T + A)	Lodo diário (t)	Lodo mensal (t)
	Mín	Med	Máx					
Ago/10	4,8	6,2	7,4	9,0	71071,6	13,26	0,9	28,3
Set/10	10,2	11,0	12,0	7,0	59510,7	19,58	1,2	35,0
Out/10	10,0	15,2	20,1	7,8	62138,6	26,23	1,6	48,9
Nov/10	12,6	22,5	42,1	8,3	67974,0	37,32	2,5	76,1
Dez/10	30,9	36,6	40,7	9,8	71097,0	59,22	4,2	126,3
Jan/11	29,8	33,0	36,2	9,7	69375,0	53,77	3,7	111,9
Volume Total					401166,9	209,4	14,2	426,4

TABELA 21 – Produção da massa de lodo segundo WRC

Coleta	Turbidez da água bruta (uT)			Cor da água bruta (uC)			Dosagem média de sulfato de alumínio (g/m ³)	Volume água tratada diário (m ³)	Produção de lodo P=(0,44.DSA +1,5.T + A)	Lodo diário (t)	Lodo mensal (t)
	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx					
Ago/10	4,8	6,2	7,4	17,5	18,5	19,3	9,0	71071,6	10,27	0,7	21,9
Set/10	10,2	11,0	12,0	26,8	30,7	32,6	7,0	59510,7	16,54	1,0	29,5
Out/10	10,0	15,2	20,1	28,7	39,1	44,6	7,8	62138,6	22,30	1,4	41,6
Nov/10	12,6	22,5	42,1	25,4	57,1	116,0	8,3	67974,0	32,36	2,2	66,0
Dez/10	30,9	36,6	40,7	90,7	104,6	128,0	9,8	71097,0	52,92	3,8	112,9
Jan/11	29,8	33,0	36,2	93,1	95,4	97,7	9,7	69375,0	47,93	3,3	99,7
Volume Total								401167	182,3	12,4	371,6

TABELA 22 – Produção da massa de lodo segundo AWWA

Coleta	Turbidez da água bruta (uT)			Dosagem média de sulfato de alumínio (g/m ³)	Volume tratado diário (m ³)	Produção de lodo P=(3,5.T.0,66)	Lododiário (TON)	Lodomensal (TON)
	Mín	Med	Máx					
Ago/10	4,8	6,2	7,4	9,0	71071,6	14,32	1,0	30,5
Set/10	10,2	11,0	12,0	7,0	59510,7	25,41	1,5	35,4
Out/10	10,0	15,2	20,1	7,8	62138,6	35,11	2,2	45,5
Nov/10	12,6	22,5	42,1	8,3	67974,0	51,88	3,5	105,8
Dez/10	30,9	36,6	40,7	9,8	71097,0	84,59	6,0	180,4
Jan/11	35,1	44,3	52,7	12,2	69375,0	76,23	5,3	158,7
Volume Total					401166,9	287,5	19,5	586,2

TABELA 23 – Produção da massa de lodo segundo Richter

Coleta	Turbidez da água bruta (uT)			Cor da água bruta (uC)			Dosagem média de sulfato de alumínio (g/m ³)	Volume água tratada diário (m ³)	Produção de lodo P=(0,2.C+K ₁ .T+K ₂ .D)/1000	Lodo diário (t)	Lodo mensal (t)
	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx					
Ago/10	4,8	6,2	7,4	17,5	18,5	19,3	9,0	71071,6	14,11	1,0	30,1
Set/10	10,2	11,0	12,0	26,8	30,7	32,6	7,0	59510,7	22,27	1,3	39,8
Out/10	10,0	15,2	20,1	28,7	39,1	44,6	7,8	62138,6	29,61	1,8	55,2
Nov/10	12,6	22,5	42,1	25,4	57,1	116,0	8,3	67974,0	42,77	2,9	87,2
Dez/10	30,9	36,6	40,7	90,7	104,6	128,0	9,8	71097,0	71,07	5,1	151,6
Jan/11	29,8	33,0	36,2	93,1	95,4	97,7	9,7	69375,0	64,5	4,5	134,2
Volume Total								401166,9	244,3	16,6	498,1

TABELA 24 - Massa de lodo dos decantadores (fórmulas e média)

Produção de lodo	Massa de lodo (t)
Kawamura	404,6
Cornwell	426,4
WRC	371,6
AWWA	586,2
Richter	498,1
Média	426,4

TABELA 25 – Volume teórico de lodo produzido no decantador

Data da Coleta	Sólidos Sedimentáveis (mL.h ⁻¹)	SS por dia (cm ³)	Massa Específica do lodo (g.cm ⁻³)	Massa do lodo diário (kg)	Massa do lodo diário (t)	Massa do lodo mensal (t)
ago/10	714,5	17148	2,65	45,4422	0,045	1,36
set/10	952,5	22860		60,579	0,061	1,82
out/10	995	23880		63,282	0,063	1,90
nov/10	925	22200		58,83	0,059	1,76
dez/10	802,5	19260		51,039	0,051	1,53
jan/11	870	20880		55,332	0,055	1,66
Total	5259,50	126228,00		334,50	0,33	10,04

