

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM NOVO CONCEITO PARA UNIDADES DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DE OLÍMPIA-SP.

Eduardo Pauly Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso

2014/2

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**ANÁLISE COMPARATIVA DE UM NOVO CONCEITO PARA
UNIDADES DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DE OLÍMPIA-SP.**

EDUARDO PAULY FERNANDES

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Programa de
Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau
de Engenheiro em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ramon Lucas
Dalsasso

Florianópolis, SC
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM NOVO CONCEITO PARA UNIDADES DE
DESAGUAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO DE OLÍMPIA-SP.

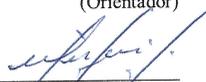
EDUARDO PAULY FERNANDES

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso
(Orientador)



Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
(Membro da Banca)



Prof. Dra. Marla Eliza Nagel Hassemer
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2014

“If you're not prepared to be wrong, you'll never come up with anything original.”

Ken Robinson

AGRADECIMENTOS

À Superintendência de Água, Esgoto e Meio Ambiente de Olímpia (DAEMO), pelos materiais disponibilizados e apoio ao trabalho.

À Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pela permissão da visita técnica, e aos operadores da ETA Miringuava, pela disposição em passar informações e tirar dúvidas.

À minha família, em especial à minha mãe, pelo companheirismo e dedicação ao longo da minha formação, e ao meu pai, pelos ensinamentos profissionais e pessoais.

Ao Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso, pela confiança e orientação no trabalho.

Aos professores e amigos que participaram da minha formação intelectual e pessoal.

RESUMO

Os resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água (ETA) têm como principal destino o lançamento indiscriminado em corpos receptores. Essa realidade é incabível frente às tecnologias disponíveis para sua disposição adequada e aos sérios danos ambientais gerados por essa ação.

O presente trabalho compara a aplicação de um novo conceito para Unidades de Desaguamento de Lodo (UDLs) de Estações de Tratamento de Água Convencionais com a tecnologia tradicional utilizada, isto é, a comparação com o sistema que utiliza uma unidade de adensamento de lodo anteriormente a unidade de desaguamento final. Os processos incluem a recirculação da água de lavagem dos filtros, água sobrenadante dos decantadores e efluentes clarificados para o tratamento de água, visando o total reaproveitamento dos efluentes líquidos.

O trabalho contempla um estudo de caso para aplicação da UDL Proposta na ETA do município de Olímpia-SP, através da elaboração de uma metodologia sistematizada em planilha eletrônica com a quantificação de resíduos gerados e o dimensionamento de cada etapa, que estabeleça condições de comparação em nível de operação e custos de instalação e operação com a tecnologia tradicional.

A UDL Proposta apresenta um menor custo total na ETA de Olímpia-SP, principalmente devido ao custo de obras civis ser consideravelmente menor por não apresentar adensador. O custo anual de energia elétrica é maior, porém é uma diferença consideravelmente pequena comparada ao custo global das unidades.

Com a constante melhoria de equipamentos e tecnologias disponíveis na operação de ETA Convencionais no Brasil, torna-se perfeitamente viável a utilização da UDL Proposta pelo trabalho, trazendo vantagens operacionais e reduzindo custos de implantação.

PALAVRAS-CHAVE: Desaguamento de Lodo; Tratamento de Água; Reaproveitamento de Água.

ABSTRACT

The Water Treatment Waste has as the main destination the indiscriminate discharge into water bodies. This reality is not according with available technologies for your adequate disposal and the serious environmental damages created by this action.

The actual work compares the application of a new concept for Sludge Dewatering Units (SDU) of Conventional Water Treatment Plant (CWTP) with the traditional technology used, it means the comparison with the system that uses a sludge concentrator before the final sludge dewatering. Both processes contain the recirculation of filters washing water, settlers clarified water and clarified effluents to water treatment, aiming to reuse all liquids effluents.

This research covers an case study for application of SDU proposal in CWTP of Olímpia-SP, through of a elaboration of an systematized methodology in a digital sheet with the quantification of the generated sludge and the dimensions of each step to create conditions to compare operations conditions and cost of installation and operation with the traditional technologies.

The UDL proposal presents a lower total cost in Olimpia-SP, mainly due to the cost for civil construction work be quite lower because of the not related sludge concentrator. The annual cost of electric energy is higher, but it's a difference considerably low compared to the unit global cost.

With the constant improvement related with the equipments and technologies available for operations of Conventional Water Treatment Plant in Brazil becomes perfectly viable the utilization of the UDL proposal, bringing operational advantages and reducing the implantation costs.

PALAVRAS-CHAVE: Sludge Dewatering; Water Treatment Plant; Water Reuse.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| AGRADECIMENTOS..... | 7 |
| RESUMO | 9 |
| ABSTRACT..... | 11 |
| LISTA DE FIGURAS | 17 |
| LISTA DE TABELAS | 19 |
| LISTA DE ABREVIATURAS | 21 |
| 1. INTRODUÇÃO | 23 |
| 2. OBJETIVOS | 25 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL..... | 25 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 25 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 27 |
| 3.1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAIS | 27 |
| 3.1.1. Introdução | 27 |
| 3.1.2. Principais Etapas do Processo da Tecnologia de Ciclo Completo..... | 28 |
| 3.2. RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA..... | 32 |
| 3.2.1. Características Gerais..... | 32 |
| 3.2.2. Resíduos Provenientes dos Decantadores e Procedimentos de Remoção | 35 |
| 3.2.3. Água de Lavagem de Filtros | 36 |
| 3.2.4. Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros à ETA..... | 37 |
| 3.2.5. Outras Possíveis Fontes Geradoras de Resíduos | 38 |
| 3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELO LANÇAMENTO DE RESÍDUOS DE ETAS EM CORPOS RECEPTORES | 39 |
| 3.3.1. Introdução | 39 |
| 3.3.2. Legislações Ambientais..... | 39 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3.3. | Problemática dos Impactos Ambientais | 41 |
| 3.4. | PRINCIPAIS ETAPAS DE DESAGUAMENTO DE LODO | 41 |
| 3.4.1. | Condicionamento | 41 |
| 3.4.2. | Equalização e Regularização do Lodo | 42 |
| 3.4.3. | Adensamento..... | 42 |
| 3.4.4. | Desaguamento Final..... | 42 |
| 4. | METODOLOGIA | 46 |
| 4.1. | UNIDADES DE DESAGUAMENTO DE LODO..... | 46 |
| 4.1.1. | Unidade de Desaguamento de Lodo Proposta | 46 |
| 4.1.2. | Unidade de Desaguamento de Lodo Tradicional | 49 |
| 4.2. | QUANTIFICAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS ATRAVÉS DE FÓRMULAS EMPÍRICAS | 51 |
| 4.2.1. | David A. Cornwell (1987) | 51 |
| 4.2.2. | American Water Work Association - AWWA (1978). | 52 |
| 4.2.3. | Water Research Center - WRC (1979)..... | 52 |
| 4.2.4. | Association Francaise Pour L'etude Des Eaux – AFEE (1982) | 52 |
| 4.2.5. | CETESB..... | 52 |
| 4.2.6. | Kawamura (1991) | 53 |
| 4.2.7. | Carlos A. Richter (2001)..... | 53 |
| 4.2.8. | Considerações | 53 |
| 4.3. | CÁLCULOS E CRITÉRIOS UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DAS ETAPAS DAS UNIDADES | 54 |
| 4.3.1. | Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros..... | 54 |
| 4.3.2. | Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores | 56 |
| 4.3.3. | Tanque de Adensamento por Gravidade | 59 |
| 4.3.4. | Decanter Centrífugo..... | 61 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.4. | LEVANTAMENTO DO CUSTO GLOBAL DAS UNIDADES..... | 63 |
| 4.4.1. | Orçamento de Obras Civis | 63 |
| 4.4.2. | Orçamento de Materiais e Equipamentos..... | 65 |
| 4.4.3. | Custos de Demanda e Consumo de Energia Elétrica ... | 67 |
| 4.4.4. | Análise do Custo Global | 68 |
| 4.5. | ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE OLÍMPIA-SP | 69 |
| 4.6. | VISITA À UNIDADE DE DESAGUAMENTO DE LODO DA ETA MIRINGUAVA..... | 70 |
| 5. | RESULTADOS..... | 71 |
| 5.1. | QUANTIFICAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP | 71 |
| 5.2. | UNIDADE DE DESAGUAMENTO DE LODO PROPOSTA PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP | 73 |
| 5.2.1. | Unidade de Equalização e Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros..... | 73 |
| 5.2.2. | Unidade de Equalização e Recirculação da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores..... | 77 |
| 5.2.3. | Unidade de Desaguamento Final..... | 82 |
| 5.2.4. | Demanda e Consumo de Energia Elétrica..... | 83 |
| 5.2.5. | Custos de Obras Civis, Materiais e Equipamentos..... | 86 |
| 5.3. | UNIDADE DE DESAGUAMENTO DE LODO TRADICIONAL PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP | 87 |
| 5.3.1. | Unidade de Equalização e Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros..... | 87 |
| 5.3.2. | Unidade de Equalização e Recirculação da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores..... | 88 |
| 5.3.3. | Unidade de Adensamento do Lodo | 89 |
| 5.3.4. | Unidade de Desaguamento Final..... | 93 |
| 5.3.5. | Demanda e Consumo de Energia Elétrica..... | 94 |
| 5.3.6. | Custos de Obras Civis, Materiais e Equipamentos..... | 96 |

| | |
|---|-----|
| 5.4. COMPARAÇÃO DE CUSTO ENTRE AS DUAS UNIDADES DE DESAGUAMENTO DE LODO APLICADAS PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP..... | 98 |
| 5.5. VISITA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA MIRINGUAVA..... | 99 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 108 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 109 |
| 8. APÊNDICES..... | 113 |
| 9. ANEXOS..... | 121 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - ETA Convencional com seus pontos de gerações de resíduos. | 28 |
| Figura 2 - Dados de lavagem apenas com água de uma ETA de Ciclo Completo. | 37 |
| Figura 3 - Modelos de Decanters Centrífugos da Andritz para concentrações de 0,5% de massa de sólidos secos. | 43 |
| Figura 4 - Fluxograma da Unidade de Desaguamento Proposta. | 47 |
| Figura 5 - Fluxograma da Unidade de Desaguamento Tradicional. | 50 |
| Figura 6 - Operação do TEHALF nas Primeiras 48 horas. | 77 |
| Figura 7 - Volume Acumulado e Existente no TEHALF nas Primeiras 48 horas. | 77 |
| Figura 8 – Fluxograma de Funcionamento da ETA Miringuava. | 100 |
| Figura 9 - Imagem Aérea com as Etapas Existentes da ETA Miringuava. | 102 |
| Figura 10 - Lavagem de um filtro. | 103 |
| Figura 11 – Tanques Separadores da Água de Lavagem dos Filtros e Descargas dos Decantadores. | 103 |
| Figura 12 - Tanque com Água de Lavagem dos Filtros. | 104 |
| Figura 13 - Tanque com as Descargas de Lodo dos Decantadores. | 104 |
| Figura 14 - Tanque de Adensamento por Gravidade. | 105 |
| Figura 15 - Decanters Centrífugos e Containers de Torta de Lodo. | 105 |
| Figura 16 – Torta de Lodo acumulada na Caçamba. | 106 |
| Figura 17 – Água recirculada dos Decanters Centrífugos. | 106 |
| Figura 18 - Inadequado direcionamento de efluentes. | 107 |
| Figura 19 - Inadequado direcionamento de efluentes. | 107 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Características Típicas de Lodos de Sulfato de Alumínio.... | 34 |
| Tabela 2 - Relação dos Custos de Obras Civas em Relação aos Custos Estruturais de uma UDL..... | 65 |
| Tabela 3 - Precipitação Média Mensal em Olímpia-SP. | 70 |
| Tabela 4 - Dados de Entrada para a Quantificação do Lodo. | 72 |
| Tabela 5 - Quantificação da Produção de Lodo por Fórmulas Empíricas. | 72 |
| Tabela 6 - Características Operacionais dos Filtros | 74 |
| Tabela 7 - Dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros (TEHALF). | 74 |
| Tabela 8 - Características da Água de Lavagem dos Filtros. | 75 |
| Tabela 9 - Dimensionamento do Recalque da Água do TEHALF à ETA. | 76 |
| Tabela 10 - Dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores (TEHASLD)..... | 79 |
| Tabela 11 - Dimensionamento das Extrações de Lodo no Decantador. | 80 |
| Tabela 12 - Dimensionamento do Recalque da Água Sobrenadante do Decantador à ETA..... | 81 |
| Tabela 13 - Dimensionamento do Recalque do Lodo do TEHASLD para a Unidade de Desaguamento Final..... | 81 |
| Tabela 14 - Dimensionamento do Decanter Centrífugo e sua Geração de Torta e Efluente Clarificado..... | 82 |
| Tabela 15 - Dosagem de Polímero no Decanter Centrífugo..... | 83 |
| Tabela 16 - Cálculo do tempo de operação da bomba de recirculação | 84 |
| Tabela 17 - Consumo e Demanda de Energia Elétrica da UDL Proposta na ETA de Olímpia-SP..... | 85 |
| Tabela 18 - Custos de Obras Civas da UDL Proposta. | 86 |
| Tabela 19 - Custos de Materiais e Equipamentos da UDL Proposta..... | 86 |
| Tabela 20 - Dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros (TEHALF). | 87 |
| Tabela 21 - Características da água de lavagem dos filtros..... | 87 |
| Tabela 22 - Recalque da Água do TEHALF à ETA..... | 88 |
| Tabela 23 - Dimensionamento do TEHASLD. | 88 |
| Tabela 24 - Características do lodo gerado no decantador. | 88 |
| Tabela 25 - Dimensionamento do Recalque da Água Sobrenadante do Decantador à ETA..... | 89 |
| Tabela 26 - Dimensionamento do Recalque do Lodo do TEHASLD para o Tanque de Adensamento por Gravidade. | 89 |

| | |
|---|----|
| Tabela 27 - Dimensionamento do Tanque de Adensamento por Gravidade..... | 90 |
| Tabela 28 - Características do Lodo Adensado..... | 91 |
| Tabela 29 - Efluente Clarificado do Adensador..... | 91 |
| Tabela 30 - Recalque do Lodo do Adensador para a Unidade de Desaguamento Final..... | 92 |
| Tabela 31 - Dosagem de Polímero no TAG..... | 92 |
| Tabela 32 - Dimensionamento do Decanter Centrífugo e sua Geração de Torta e Efluente Clarificado..... | 93 |
| Tabela 33 - Dosagem de Polímero no Decanter Centrífugo. | 94 |
| Tabela 34 - Consumo e Demanda de Energia Elétrica da UDL Tradicional na ETA de Olímpia-SP..... | 95 |
| Tabela 35 - Volume de Concreto Armado do TEHALF e do TEHASLD | 96 |
| Tabela 36 - Volume de Concreto Armado do TAG..... | 96 |
| Tabela 37 - Custos de Obras Civas da UDL Tradicional..... | 97 |
| Tabela 38 - Custos de Materiais e Equipamentos da UDL Tradicional..... | 97 |
| Tabela 39 - Dispêndio anual de energia elétrica e Financiamento das UDLs..... | 98 |
| Tabela 40 - Diferença de Custos da UDL Proposta para a Tradicional Sem Financiamento..... | 99 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---------|--|
| UDLs | Unidades de Desaguamento de Lodo |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| TEHALF | Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros |
| TEHASLD | Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores |
| TAG | Tanque de Adensamento por Gravidade |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se com mais de 6000 estações de tratamento de água (PNSB, 2008) responsáveis por tratar quase 13 bilhões de metros cúbicos de água por ano (SNIS, 2012) proveniente de águas superficiais e subterrâneas com objetivo de produzir uma água de qualidade para abastecimento de milhões de brasileiros. As Estações de Tratamento de Água funcionam como qualquer indústria, gerando uma grande quantidade de resíduos, conhecidos como "lodos", constituídos de água, sólidos removidos da água bruta e produtos gerados pelas reações após a adição de produtos químicos aplicados no processo, os quais são muitas vezes desconsiderados pelas companhias de abastecimento de água.

Todo esse resíduo, que é acumulado ao longo da operação da estação, precisa ser tratado e descartado adequadamente, sendo necessário o uso de tecnologias específicas capazes de garantir uma eficaz gestão do material. Porém, a principal solução para essas situações tem sido o lançamento indiscriminado de todo resíduo, principalmente em corpos d'água situados próximos a estação. Essa realidade é incabível frente às tecnologias disponíveis para a disposição adequada desses lodos e aos sérios danos gerados por esse procedimento. Esse procedimento inadequado continua sendo extremamente comum e responsável pela poluição e contaminação de diversos rios, lagos, córregos, mares e águas subterrâneas, ameaçando os principais usos da água.

Existem no país restrições para dispor os resíduos no ambiente, conforme leis federais e estaduais, mas as empresas de saneamento ainda encontram problemas para uma gestão adequada dos resíduos. Em cima disso, o trabalho em estudo preocupa-se em realizar uma análise comparativa de um novo conceito de Unidade de Desaguamento de Lodo de Estações de Tratamento de Água Convencionais com a tecnologia tradicional, que poderá reduzir consideravelmente a manutenção dos equipamentos utilizados, custo de implantação e área de construção necessária e facilitar a operação, além de ser ambientalmente mais sustentável.

O reaproveitamento das águas clarificadas geradas no processo de tratamento de água e desaguamento de lodo tem extrema importância em face à atual crise de abastecimento de água no Brasil, principalmente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, pois diminui perdas de água e danos ao meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo comparar Unidades de Desaguamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água Convencional que não utilizam um adensador de lodo anteriormente a unidade de desaguamento final com unidades que adotam esse adensamento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o funcionamento da UDL Proposta e Tradicional, incluindo em ambas as unidades o reaproveitamento da água de lavagem de filtros, água sobrenadante dos decantadores e efluentes clarificados.
- Criar uma sequência de cálculos para a quantificação de geração de resíduos e o dimensionamento das unidades em condições otimizadas para emprego das UDLs, através de uma metodologia sistematizada em planilha eletrônica.
- Comparar os dois conceitos de UDL aplicados na Estação de Tratamento de Água do município de Olímpia-SP, incluindo condições operacionais e custos de obras civis, materiais, equipamentos e energia elétrica.
- Analisar e avaliar o desempenho de uma Unidade de Desaguamento de Lodo em operação com reaproveitamento dos efluentes líquidos numa Estação de Tratamento de Água de Ciclo Completo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAIS

3.1.1. Introdução

Estações de Tratamento de Água são definidas como um conjunto de instalações e equipamentos destinados a realizar o tratamento da água bruta.

A água, como um bem essencial à sobrevivência humana, sempre foi importante na história das civilizações, no Brasil destacam-se a uso de fontes, aquedutos e chafariz nos primeiros séculos da colonização até os primeiros registros de sistemas de abastecimentos de água nas principais áreas urbanas no final do século XIX. A partir do século XX surgiram os aprimoramentos nos processos de tratamento, chegando as concepções tecnológicas atuais das Estações de Tratamento de Água (ETA), e nos materiais e equipamentos empregados, com destaque ao uso do ferro dúctil e PVC para distribuição de água.

Não existe qualidade de vida sem água de qualidade. Realidade responsável por caracterizar a água com um fator limitante para o desenvolvimento de qualquer município. Assim, as ETAs surgiram com intuito de remover os riscos existentes nas águas das fontes de abastecimentos através de sucessivos processos combinados visando alcançar uma qualidade adequada para seu devido uso. Do ponto de vista tecnológico, a água de qualquer qualidade pode ser, teoricamente, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar totalmente o uso de um determinado curso de água como fonte de abastecimento (Di Bernardo; Sabogal Paz, 2008).

O Brasil apresentava 4.560 ETAs em operação em 2000, alcançando o número de 6.040 em 2008, sendo 437 estações no estado de Santa Catarina (PNSB, 2008). Segundo a Secretaria Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2012, foram tratados cerca de 12.500.000 mil metros cúbicos de água em ETAs, desconsiderando o volume de água tratada por simples desinfecção em Unidades de Tratamento Simplificado (UTS).

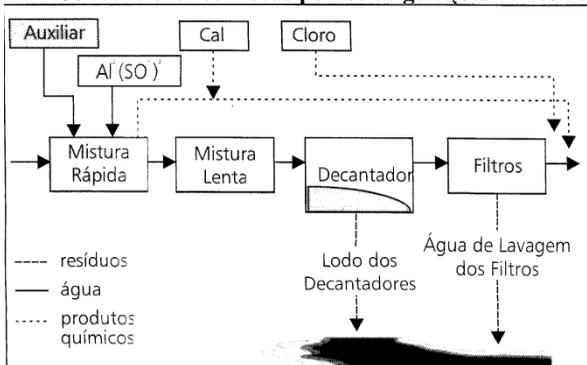
A tecnologia convencional é utilizada na maioria das estações de tratamento de água existentes no Brasil (Reali, 1999). Por esse motivo foi realizado uma análise comparativa de uma nova proposta de Unidade de Desaguamento de Lodo com uma tecnologia tradicionalmente

adotada para a Estação de Tratamento de Água de Ciclo Completo, sendo assim abordada com mais detalhes.

3.1.2. Principais Etapas do Processo da Tecnologia de Ciclo Completo

As principais etapas do processo de tratamento de água convencional são: a coagulação, a floculação, a decantação e a filtração, além de outras etapas como a desinfecção, fluoretação e ajuste de pH.

Figura 1 - ETA Convencional com seus pontos de gerações de resíduos.



Fonte: PROSAB, 1999, cap. 1, pág. 5.

3.1.2.1. Coagulação e Mistura Rápida

A coagulação consiste basicamente na desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de substâncias húmicas através de reações químicas do coagulante com a água e a formação de espécies hidrolisadas com carga positiva ou precipitados do metal do coagulante utilizado. Para a reação ocorrer devidamente é necessária uma unidade de mistura rápida para aplicação do coagulante, podendo ser hidráulicas (calha parshall, vertedouro retangular, injetores, difusores, etc), mecânicas (câmara com agitador) e especiais (misturadores estáticos). A mistura rápida tem o objetivo de ocasionar a dispersão do coagulante na água de uma forma homogênea. Essa agitação é necessária para que a adição de coagulante à água seja com grande energia, fazendo com que os íons atravessem a dupla camada que cercam as partículas.

A neutralização de carga e a varredura são os dois mecanismos mais importantes para a eficiência das ETAs. Produtos da hidrólise do alumínio e do ferro (coagulantes mais utilizados) neutralizam as partículas presentes na água bruta após adsorção em suas superfícies devido à agitação e ao curto tempo de mistura, sendo assim possível formar os flocos a partir da aproximação entre elas. A varredura é responsável pela desestabilização feita pelo hidróxido de alumínio na forma sólida que causa emaranhamento das impurezas entre eles. A varredura apresenta dosagens de coagulantes e o pH relativamente altos quando comparados com a neutralização de carga, além de não precisar de um tempo de mistura muito curto.

De acordo com o lodo formado, coagulação com mecanismos de adsorção e neutralização de carga geram menor volume e melhores características de adensamento dos resíduos (Cornwell, 1987); (Ferreira Filho & Além Sobrinho, 1998). Porém, estudos experimentais trazem que o potencial de recuperação dos resíduos gerados nos mecanismos de adsorção neutralização de carga é pequeno em comparação com mecanismo de varredura (Gonçalves et al., 1999).

3.1.2.2. Floculação

A floculação é um processo físico no qual as partículas coloidais, previamente desestabilizadas e neutralizadas na coagulação, sofrem colisões entre si através do transporte do fluido, de modo a permitir o aumento do seu tamanho físico com formação de flocos. Essa agitação proveniente do transporte do fluido deve ser moderada, sem alterações localizadas e decrescendo ao longo do aumento do tamanho dos flocos, assim evitará a desagregação dos flocos já formados.

A floculação pode ser realizada com misturados hidráulicos (chicanas, meio granular, Alabama e helicoidal) e mecanizados (câmaras de misturas e variados tipos de agitadores). As chicanas com escoamento horizontal e vertical são normalmente encontradas nas ETAs com sistemas hidráulicos. Os floculadores mecânicos podem ter equipamentos com eixo vertical ou horizontal e possuir rotores com paletas giratórias paralelas ou perpendiculares ao eixo ou com turbinas com pás ou hélices. A qualidade de água bruta, mecanismo de coagulação adotado, vazão da operação, existência de pessoal qualificado para operação, entre outros, são fatores levados em consideração para a definição do tipo de floculador a ser adotado (Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008).

3.1.2.3. Decantação

A decantação consiste nas forças gravitacionais para separação das partículas ou flocos pré-formados na floculação, com densidade superior a da água, através da sedimentação em uma superfície ou zona de armazenamento. Esse processo físico propicia a clarificação do meio líquido com a separação das fases sólidas e líquidas. É importante citar a flotação como tecnologia similar, utilizando da ascensão das partículas suspensas aderidas às bolhas de ar para a separação, porém não é abordada no presente trabalho.

Nas ETAs, a sedimentação é realizada com partículas na forma floculenta, devido a existência de floculadores no processo, e não na forma de partículas discretas, como é o caso de grãos de areia. No movimento descendente os flocos acabam se colidindo e gerando alterações do seu tamanho (peso e forma), modificando a velocidade de sedimentação, sendo necessários ensaios laboratoriais para avaliar esse efeito (Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008).

Os três principais decantadores existentes e encontrados nas estações são: Decantador Convencional de Escoamento Horizontal, Decantador Convencional de Escoamento Vertical Ascendente e Decantador de Alta Taxa (Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008).

O Decantador Convencional de Escoamento Horizontal é conhecido como decantador convencional e consiste em grandes tanques retangulares para a sedimentação com zonas de lodo. Essa tecnologia normalmente é utilizada para vazões pequenas, devido a sua facilidade de construção, além de demandar grandes áreas, pois a velocidade da água deve ser baixa para impedir o arrastamento do lodo e assegurar a sedimentação.

O Decantador Convencional de Escoamento Vertical Ascendente é normalmente uma unidade industrializada e decantador de manto de lodo, pois a entrada ocorre justamente na zona de lodo, necessitando da formação e manutenção desse lodo para garantir sua eficiência, além de água bruta não apresentar turbidez menor que 50uT. Essas decantadores podem apresentar maior taxa de escoamento superficial na zona de sedimentação devido ao manto de lodo garantir o encontro das partículas, podendo, muitas vezes, aplicar floculadores dentro da própria unidade, denominados floco-decantadores (Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008).

O Decantador de Alta Taxa consiste na aplicação de dutos, placas, módulos ou lonas para aumentar a eficiência do processo e garantir a sedimentação das partículas. Para essa tecnologia funcionar

adequadamente é preciso garantir a distribuição uniforme da água floculada, remoção apropriada do lodo depositado e coleta uniforme da água decantada, além de não promover quebra de flocos da água floculada (Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008). Devido aos variados tipos e formas de materiais que podem ser utilizados e esquemas de canais, tubos e calhas para seu funcionamento, há inúmeras concepções do decantador de alta taxa que podem ser aplicadas.

Normalmente não são removidas todas as partículas nesse processo, sendo necessária a utilização de filtros para retirar o restante da parte sólida da água, aumentando a eficiência da estação.

3.1.2.4. Filtração Rápida

A filtração é um processo de separação da fração sólida e líquida, englobando fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos, com objetivo de remoção das impurezas provenientes da água decantada ou da água bruta por sua passagem através de um meio poroso. Os filtros rápidos operam com taxa de filtração entre 80 e 600m³/m²d com ação da profundidade, de acordo com o leito filtrante e o tipo da ETA.

Os filtros rápidos são constituídos principalmente de camadas de areia, antracito e pedregulho (ou seixos). O meio filtrante de dupla camada – areia e antracito – é muito utilizado, pois permite que o antracito fique sobre a areia mesmo com tamanho de grãos maiores, devido a sua menor massa específica. A espessura da camada recomendada, quando utilizada dupla camada, é de 20 a 30 cm para a areia e 45 a 60 cm para o antracito. Apesar de não ser comum, algumas estações apresentam três subcamadas, adicionando, por exemplo, ilmenita, magnetita ou granada sob a areia.

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), os filtros rápidos podem ser classificados de acordo com alguns aspectos, quanto: à forma em planta - retangulares ou circulares de chapa metálica, resina, polietileno e, principalmente, concreto; à pressão - por gravidade ou por pressão para atingir a carga hidráulica necessária; ao número de câmaras filtrantes - simples ou duplas; à taxa de filtração - rápidos ou lentos; à direção de escoamento – ascendentes (também usados nas tecnologias de filtração direta ascendentes e de dupla filtração) e descendentes (também usados na filtração direta descendentes).

3.1.2.5. Desinfecção, Fluoretação e Ajuste de pH

Além das etapas anteriores, grande parte das ETAs Convencionais apresentam desinfecção, fluoretação e ajuste de pH. A desinfecção é fundamental para impedir qualquer contaminação da água de abastecimento da população, utilizando oxidantes e desinfetantes com cloro, ácido peracético, dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio ou permanganato de potássio. Para algumas etapas do processo de tratamento de água é necessário ajustar com pH com alcalinizantes (cal, carbonato de sódio e hidróxido de sódio) ou ácidos e sais (ácido clorídrico e ácido sulfúrico). A água tratada é submetida a dosagens de flúor para a saúde bucal da população, normalmente utilizados ácido fluossilícico e fluossilicato de sódio.

3.2. RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

3.2.1. Características Gerais

As Estações de Tratamento de Água geram resíduos conhecidos como “lodos”, constituídos de água, sólidos removidos da água bruta e produtos gerados pelas reações após a adição de produtos químicos aplicados no processo.

Analisando o histórico das ETAs brasileiras nota-se um descaso na maioria das estações, sendo projetas com foco exclusivamente no produto final, no caso a qualidade da água tratada, para estar disponível à distribuição para a população e enquadrar-se nas legislações vigentes. Porém, não é dado o devido cuidado com a geração dos resíduos nos países em desenvolvimento, como o Brasil, sendo muitas vezes negligenciada devido aos curtos prazos de elaboração dos projetos (falta de planejamento), verbas limitadas para a construção e operação da estação (custos operacionais) e, principalmente, inexistência de fiscalização ambiental para exigir a adequada gestão desses resíduos, ou até muitas vezes ocorrendo omissão de alguns casos por falta de investimentos ou soluções específicas.

A principal solução para essas situações tem sido o lançamento indiscriminado de todo resíduo nos corpos d'água situados próximos a estação, normalmente de onde foi captada a água para tratamento (Souza Filho, 1998). Essa realidade é incabível frente às tecnologias hoje existentes e disponíveis para a disposição adequada desses lodos e aos

sérios danos gerados por esse procedimento, que são destacados posteriormente.

Não existem, no Brasil, estudos aprofundados sobre esse tema, como soluções específicas para cada caso ou possíveis combinações de tecnologias para uma melhor eficiência e redução de custos, os principais estudos ativeram-se a demonstrar e caracterizar casos existentes ou citar e explicar os processos mais usuais, dificultando para projetistas terem materiais com bases confiáveis de dimensionamento e escolha da técnica mais apropriada para cada realidade, muitas vezes tendo que procurar por bibliografias internacionais.

Segundo Cornwell (2006), o engenheiro sanitarista encontrará duas situações distintas para gerir os resíduos gerados nas ETAs: a partir de uma ETA existente ou em conjunto com o tratamento de água quando toda a estação está sendo projetada. No projeto de gestão dos resíduos é necessária a quantificação do lodo gerado no tratamento, podendo ser calculado distintamente para cada situação. Quando a ETA for existente e estiver em operação, a quantificação de resíduos sólidos poderá ser feita na própria estação, através de análises dos sólidos provenientes de cada etapa do processo, relacionando-os com suas respectivas vazões. Para projetos de futuras ETAs, a quantificação poderá ser realizada através da análise de balanço de massa e de fórmulas empíricas de diversos autores e estudos nacionais e internacionais. Independente do método escolhido é fundamental ter conhecimento dos dados da água bruta a ser tratada e das dosagens de produtos químicos empregados no processo, podendo ser adquiridos por dados históricos ou análises e ensaios laboratoriais.

O volume desse lodo varia de acordo com a tecnologia empregada na estação, pela qualidade e características da água bruta, pelas dosagens químicas e as reações físico-químicas e biológicas ocorridas, representando, segundo Luciano (1998), 0,3 a 1% do volume de água tratada pela ETA e 0,2 a 5% segundo Richter (2001). As variações sazonais e a turbidez presente na água influenciam a taxa de geração do lodo (Reali, 1999). Tanques de decantação que utilizam sulfato de alumínio como coagulante apresentam sólidos totais variando entre 1.000 e 40.000 mg/L (0,1 a 4%) e entre 40 a 1.000 mg/L (0,004 a 0,1%) na água de lavagem dos filtros, sendo de 75 a 90% de sólidos suspensos e de 20 a 35% de compostos voláteis, apresentando uma pequena porção biodegradável (Richter, 2001).

As composições do lodo proveniente dos decantadores são matéria orgânica e inorgânica, partículas de solo carregadas pela água bruta, subprodutos gerados da adição de produtos químicos e água.

Areia, silte e argila, fração inorgânica da composição, são as maiores parcelas constituintes dos resíduos. A fração orgânica dos resíduos de ETA são substâncias húmicas, organismos planctônicos, bactérias e vírus (Andreoli, 2001). A Tabela 1 apresenta as características de lodos de sulfato de alumínio.

Tabela 1 - Características Típicas de Lodos de Sulfato de Alumínio

| Sólidos Totais (%) | Inorgânico (%) | Matéria Orgânica (%) | pH | DBO (mg/L) | DQO (mg/L) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| 0,1 - 4 | 35 - 70 | 15 - 25 | 6 - 8 | 30 - 300 | 30 - 5000 |

Fonte: Richter, 2001.

A massa específica ou densidade do lodo gerado é diferente da massa específica das partículas primárias coaguladas, pois varia com o grau de compactação do material floculento, o qual não tem uma densidade fixa (Richter, 2001). Águas de alta turbidez com sólidos secos inorgânicos provenientes principalmente de sílica, argila e silte finamente divididos apresentam massa específica média de 2.600kg/m^3 , resultando em lodos com densidade baixa de 1.030kg/m^3 e concentrações de 5% de sólidos quando coaguladas com sulfato de alumínio (Camp, 1946). Porém, a densidade do lodo é variável de acordo com a origem e características dos sólidos da água bruta, coagulante e, principalmente, o conteúdo de água do lodo.

Richter, em 2001, relatou que é possível estimar a densidade de sólidos secos de águas com teor elevado de material inorgânico, coagulado com sais de alumínio ou de ferro, como 2.300kg/m^3 . Já quando a água apresenta grande parte de matéria orgânica e baixa turbidez, a massa específica dos sólidos secos pode chegar a valores tão baixos como 1.300kg/m^3 . Sendo assim, Richter conclui que pode-se utilizar o valor de 1.800kg/m^3 como estimativa de densidade de sólidos secos em projetos.

As ETAs Convencionais têm como fonte dos resíduos sólidos a descarga do lodo sedimentado no fundo dos decantadores e da água de retrolavagem dos filtros. A concentração de sólidos no lodo varia em função do intervalo e duração das descargas dos decantadores, da carreira de filtração e da duração da retrolavagem, de acordo com o modelo de tanques e filtros projetados ou existentes para a ETA.

3.2.2. Resíduos Provenientes dos Decantadores e Procedimentos de Remoção

Os decantadores retêm entre 60 e 95% dos lodos provenientes da etapa de coagulação, podendo acumular lodo durante um período em torno de 2 e 3 meses (Richter, 2001) ou 1 a 4 meses (Di Bernardo, Carvalho, Scalize, 1999). Já em ETAs com decantadores de alta taxa são realizadas descargas de fundo, com concentrações menores, em intervalos de tempo mais curtos, dias ou horas, através de dispositivos de extração de lodo. O lodo dos decantadores apresenta teores de sólidos numa faixa que os consideram como fluidos dilatantes ou plásticos, com viscosidade variando com o seu teor de sólidos.

A remoção de lodo dos decantadores pode ser realizada de 3 formas de acordo com o tipo de tecnologia adotada: remoção manual, hidráulica ou mecânica.

A remoção do lodo dos decantadores pode ser realizada manualmente, como é feito, necessitando retirar todo o volume de água do decantador, utilizado em algumas estações com pequenas vazões ou com uma água bruta de boa qualidade, ou quando em estações, com dispositivos de extração de lodo, quando necessitam de manutenção e limpeza geral do tanque de decantação. Normalmente esse processo necessita parar a operação do decantador, ou da estação inteira caso só apresente um decantador, para drenar todo o volume de água do tanque e tornar acessível para os responsáveis pela limpeza. São utilizados principalmente mangueiras com jatos de água sob pressão e/ou rodos.

Decantadores convencionais com remoção manual de lodo são limpos após verificação visual dos operadores, especificamente quando é observado intenso arrastamento de flocos para calhas de coleta de água decantada ou após surgimento de odor desagradável e de bolhas proveniente da fermentação e degradação do lodo acumulado (Di Bernardo, Carvalho, Scalize, 1999). Após o surgimento de uma zona de turbilhonamento com formação de bolhas de gás é necessário a remoção imediata do lodo para não gerar desprendimento de grandes placas de lodo na zona de decantação, além de deixar a água com sabor e odor desagradáveis.

Há vários tipos de equipamentos para remoção mecânica do lodo, sendo normalmente realizada através de dispositivos de raspagens que direcionam o lodo por arraste até uma câmara de armazenamento, operando em círculos (decantadores circulares ou quadrados) ou longitudinalmente (decantadores retangulares). Também existem ETAs

com decantadores retangulares e remoção mecânica do lodo com uso de correntes submersas, aspiradores ou bombas.

Os descartes hidráulicos são possíveis a partir da própria carga hidráulica disponível pela altura da lâmina de água no decantador, sendo acionados por válvulas, automáticas ou manuais, de acordo com o tempo de detenção do lodo no decantador. Esse sistema pode ser combinado com remoção mecanizada do lodo, aplicado em câmaras de acumulação do lodo proveniente do arraste mecânico. O acionamento do descarte hidráulico pode ser feito após verificação visual, como citado anteriormente, após o surgimento excessivo de flocos nas calhas de coleta da água decantada, apesar de que com o tempo os operadores de cada estação estabelecem um período constante de acúmulo do lodo de acordo ao longo da operação. Em ETAs de grande porte, com vazão maior que 1.000 L/s, os decantadores são providos de dispositivos automáticos para extração do lodo (Di Bernardo, Carvalho, Scalize, 1999). Atualmente, a tendência é automatizar toda a estação, incluindo as descargas dos decantadores, devido ao grande ganho na facilidade operacional e maior disponibilidade de produtos e dispositivos para esse fim no mercado.

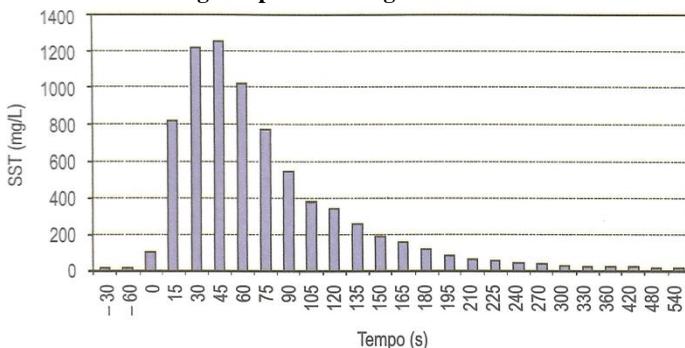
3.2.3. Água de Lavagem de Filtros

O procedimento mais utilizado para lavagem de filtros é a aplicação de uma vazão no sentido contrário ao de tratamento, a retrolavagem. As unidades de filtração são lavadas em média a cada 24-72 horas e a água de lavagem dos filtros que utilizam sulfato de alumínio como coagulante apresentam sólidos totais variando entre 40 e 1.000 mg/L (Richter, 2001), dependendo do método e periodicidade das lavagens. Em geral a lavagem tem uma duração de 4 a 15 minutos com taxa de aplicação de água em torno de 10 a 15 L/m²s, dependendo do método de lavagem (Di Bernardo, Carvalho, Scalize, 1999).

A primeira parcela da água de lavagem tem uma concentração bem baixa de sólidos, pois ainda não expandiu suficientemente o meio granular para iniciar a remoção dos materiais sólidos retidos, aumentando drasticamente quando inicia a limpeza, chegando a uma elevada concentração de sólidos, que vai diminuindo até o final do procedimento, quando se observa ausência de flocos. Está tornando-se cada vez mais comum o uso de retrolavagem com ar e água para auxiliar na remoção dos sólidos, com a aplicação de compressores de ar antes (ou durante) da lavagem, com sistemas para distribuição uniforme.

A Figura 2 representa a variação dos sólidos suspensos totais durante uma lavagem de filtro de uma ETA Convencional durante 9 minutos. É evidente que a primeira parcela de água carrega grande parte dos sólidos retidos no filtro, diminuindo a concentração de sólidos ao longo da lavagem. Uma retrolavagem com ar e água ainda é mais representativa essa diferença na água de lavagem.

Figura 2 - Dados de lavagem apenas com água de uma ETA de Ciclo Completo.



Varição da concentração de SST durante a lavagem

Fonte: Hidrosan Engenharia, 2009.

3.2.4. Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros à ETA

Nas ETAs com tecnologia de tratamento convencional a água de lavagem dos filtros pode ser retornada a câmara de chegada de água bruta para ser misturada com a mesma, sem ou com sua clarificação (Souza Filho, 2004). Porém, a vazão de retorno deve ser regularizada até no máximo 10% da vazão de água bruta de modo a não prejudicar a coagulação-floculação, dosagem de coagulante e sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento (Martins et. al, 2009). Também é necessário apresentar um tanque de recepção de resíduos líquidos devido ao volume de água de lavagem ser variável de acordo com a qualidade da água bruta, da eficiência dos decantadores e das condições de operação e manutenção (Di Bernardo, Scalize, Souza Filho, 1999). No Brasil, destacam-se por realizar a recirculação das águas de lavagem dos filtros e terem elevadas vazões as ETAs Guaraú e Alto da Boa Vista, com capacidade para 33.000L/s e 11.000L/s, respectivamente (Ferreira Filho, 1997).

A água para retrolavagem utilizada nos filtros rápidos das ETAs Convencionais podem chegar a valores iguais ou superiores a 5% do

volume total de água tratada, valorizando assim a recirculação da água de lavagem dos filtros com ênfase na minimização de impactos ambientais e da economia de água. Essa porcentagem do consumo de água para lavagem dos filtros aparece em algumas pesquisas, como afirma Cornwell (1987) apud Fontana (2004), que somente na lavagem dos filtros, o consumo pode chegar de 2% a 5% do volume de água tratada.

A recirculação da água de lavagem dos filtros trás, além de uma economia significava no consumo de água, um benefício para a ETA com a redução na dosagem necessária de coagulante para neutralização das cargas devido à presença de coagulação residual que auxiliam na agregação, como é relatado em algumas experiências desse reuso. Um exemplo dessa satisfatória reutilização da água de retrolavagem dos filtros é a ETA Guaraú, a qual conseguiu reduzir em 10% a dosagem de sulfato de alumínio ao tratamento de água (Saron; Silva, 2001), gerando uma economia de 1.400 a 1.900 toneladas de coagulante (Martins et. al, 2009).

A lavagem dos filtros apenas com água no sentido ascensional gera um volume maior de água quando comparado ao sistema que possui lavagem posterior auxiliar com ar (Reali, 1999). Assim, um sistema de lavagem com ar e água é mais favorável para o funcionamento de uma UDL devido ao menor volume de água direcionado à unidade.

No Brasil não há legislações específicas ou normas técnicas para a recirculação da água de lavagem dos filtros.

3.2.5. Outras Possíveis Fontes Geradoras de Resíduos

Uma ETA pode ter distintas fontes geradoras de resíduos de acordo com o projeto, tendo outras fontes de contribuição para a UDL. Muitas vezes são previstos ramais de descarga em floculadores, canais de água bruta e água coagulada, fundo de filtros, entre outros, pois podem acabar depositando materiais indevidamente. As lavagens dos tanques de preparação de soluções e suspensões de produtos químicos também podem ser direcionados para a UDL.

3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELO LANÇAMENTO DE RESÍDUOS DE ETAS EM CORPOS RECEPTORES

3.3.1. Introdução

O lodo apresenta uma composição com hidróxidos dos metais residuais provenientes das reações dos coagulantes utilizados para auxiliar no processo de coagulação, que normalmente são de ferro ou alumínio (como policloreto de alumínio - PAC, sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico) utilizados no processo de potabilização e dos sólidos suspensos referentes às impurezas presentes na água, além de possíveis outros produtos adicionados na água, como carvão ativado, alcalinizantes e polímeros condicionantes. Segundo Grandin, Além Sobrinho e Garcia Jr (1993) o lodo de ETA é constituído, basicamente, de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argila, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc.

O lançamento desses resíduos gerados numa ETA em mananciais é extremamente perigoso para o meio ambiente, causador de impacto ambiental, devido a presença de metais tóxicos e alta concentração de sólidos, podendo causar danos à fauna e flora com a alteração do ecossistema local e inibição das atividades biológicas (como interferência na fotossíntese devido ao aumento da concentração de sólidos suspensos e diminuição da luminosidade), assoreamento de rios e córregos, alterações de propriedade químicas da água (como pH, DBO, DQO, Al, Fe, etc), desenvolvimento de condições anaeróbicas no meio.

3.3.2. Legislações Ambientais

Os lodos de ETAs são classificados pela série de normas NBR-10.004 (2004) como resíduos sólidos e sua caracterização poderá enquadrá-lo como resíduo não inerte (classe II A) ou resíduo inerte (classe II B), não sendo permitido seu lançamento in natura em águas superficiais. Existem pesquisas sobre caracterização e classificação que enquadram como classe II A, o que determina a sua disposição final em aterro sanitário (Boskov, 2008).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97 estabelece: “Art. 12. Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: III - lançamento em

corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final”.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, que alterou parcialmente e complementou a Resolução nº 357/2005. O Artigo 16, Seção II e Capítulo II (das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes) descreve que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, como pH entre 5 a 9, temperatura inferior a 40°C, materiais sedimentáveis até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff (para o lançamento em lagos e lagoas os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes), regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, ausência de materiais flutuantes, além de outros padrões de lançamento mais específicos como valor máximo de 15 mg/L de ferro dissolvido.

O lançamento dos resíduos gerados em ETAs em corpos d’água, segundo a Lei 9.605/98, pode ser considerado crime ambiental:

- Contra a fauna caso: “provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras” e por contaminação por: “ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos” com pena de detenção de um ano a três anos ou multa, ou ambas as penas cumulativamente.
- Devido poluição se: “ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos” com pena de reclusão, de um a cinco anos.

Uma inadequada gestão dos resíduos de uma ETA pode, com certeza, implicar sérias consequências para os responsáveis, por estar infringindo leis brasileiras.

3.3.3. Problemática dos Impactos Ambientais

O crescimento populacional e aumento constante da urbanização são evidentes na maioria dos municípios brasileiros, tivemos nos últimos anos uma taxa de crescimento populacional de 0,9% por ano segundo o Banco Mundial. Em qualquer projeto de saneamento realizado é preciso um estudo de aumento populacional para uma projeção em média de 20 a 30 anos. Esse crescimento reflete nas demandas de bens de consumo, incluindo a água para consumo humano que deverá ser produzida nas estações, fazendo com que além do acréscimo da geração de águas residuárias, um aumento na geração de resíduos das ETAs, deixando diversos corpos d'água suscetíveis a contaminação caso essa problemática não passe a ser equacionada corretamente.

Essa crescente demanda de distribuição de água tratada e elevado grau de poluição está afetando consideravelmente os mananciais disponíveis com qualidade para uso da água, realidade que faz levantar ainda mais a importância de preservar os corpos d'água de cada localidade. A adequada gestão dos resíduos gerados nas ETAs torna-se cada vez mais relevante para as companhias de saneamento diante dessa situação, sendo que deveria ser imprescindível para qualquer estação em operação a existência de uma unidade de desaguamento de lodo e uma correta disposição final.

Mesmo assim as maiorias das estações acabam lançando seus resíduos sem nenhum tipo de tratamento diretamente nos mananciais, pois os recursos disponíveis são focados para a universalização do abastecimento de água (problemática que é reivindicação imediata e exigência da população) sem preocupação com a geração de resíduos desse processo.

3.4. PRINCIPAIS ETAPAS DE DESAGUAMENTO DE LODO

O desaguamento de lodo consiste na redução do volume em excesso por meio do aumento do teor de sólidos, realizado nas Unidades de Desaguamento de Lodo.

3.4.1. Condicionamento

O condicionamento pode ser químico ou físico, com a adição de um produto químico ao resíduo ou alteração física de sua natureza,

respectivamente. O condicionamento é indispensável para desaguamento em equipamentos mecânicos, podendo ser dispensado em métodos naturais. No Brasil normalmente é utilizado condicionamento químico, empregando polímeros catiônicos, aniônicos ou não iônicos. É importante um adequado monitoramento e dosagem do polímero, de acordo com a vazão e a concentração de sólidos do efluente em que está sendo aplicado. Para um controle dessa dosagem é necessário a regularização da vazão do lodo, normalmente realizado por bombas de deslocamento positivo helicoidal.

3.4.2. Equalização e Regularização do Lodo

A equalização de regularização do lodo é realizada por tanques com agitação que mantenha uniforme a vazão do efluente e a concentração dos sólidos para não prejudicar as etapas posteriores do processo de desaguamento de lodo. O tanque deve ser projetado levando em conta que o maior volume de geração de resíduos ocorre nos filtros, porém os resíduos mais concentrados são provenientes dos decantadores. No caso de recirculação da água de lavagem dos filtros, é preciso de um tanque de equalização e regularização separado do lodo proveniente dos decantadores.

3.4.3. Adensamento

O adensamento é um processo para aumentar a concentração de sólidos contidos no resíduo reduzindo seu volume, antes da etapa seguinte do desaguamento. Existem três tipos de adensadores: por gravidade, por flotação e mecanizados. Segundo Richter (2001) o adensamento por gravidade pode ser operado em batelada, especialmente para pequenas instalações. O funcionamento contínuo fornece baixa concentração de sólidos dependendo das características do resíduo e da operação da ETA (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008).

3.4.4. Desaguamento Final

O desaguamento final do lodo pode ser feito por sistemas mecânicos (centrífuga, filtro-prensa, filtro a vácuo e prensa desaguadora) ou naturais (leitos de secagem, lagoas de lodo e bag's).

3.4.4.1. Centrífuga

As centrífugas utilizam uma alta força centrífuga ao lodo para acelerar o processo de separação da parte sólida e líquida. A centrífuga comercial de eixo horizontal conhecida como *Decanter* é comumente utilizada no desaguamento final do lodo, normalmente ente 2000 e 6000 rpm.

O Decanter Centrífugo desidrata o sólido e clarifica o líquido. A separação entre sólidos e líquidos é feita dentro do tambor rotativo gerador da força centrífuga em seu interior. O lodo entra na centrífuga pelo tubo de alimentação até a câmara de separação onde os sólidos são empurrados para a parede do tambor através da força centrífuga, formando uma torta de lodo que é transportada pela rosca sem fim e comprimida na parte cônica. Buchas com proteção antidesgaste eliminam torta do decanter e a fase líquida caminha no sentido contrário, saindo do decanter pelos cabeçotes de descarga de líquidos.

O lodo adensado sendo conduzido para um tanque de armazenamento têm sido adotado em muitas ETAs, o qual contém um misturador submersível ou um agitador do tipo turbina. Deste tanque o lodo normalmente é bombeado para a centrífuga por meio de bombas do tipo deslocamento positivo recebendo dosagens de polímero na tubulação de recalque (Di Bernardo et al., 2002).

Segundo Di Bernardo (2008), a quantidade de polímero utilizado varia de 2 a 5 g/kg de SST no tratamento. As centrífugas funcionam de 12 a 20 horas por dia, formando uma torta com massa específica de 1,15 a 1,30 kg/L e teor de sólidos de 20 a 30% (massa/massa). A Figura 3 apresenta exemplo de modelos do fabricante Andritz.

Figura 3 - Modelos de Decanters Centrífugos da Andritz para concentrações de 0,5% de massa de sólidos secos.

| Approximate design flow rate (m ³ /h) suspended solids ≈ 0.5% w/w (feed concentration) | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-------|-------|
| Type | D2N | D2L | D2LL | D3L | D3LL | D4L | D4LL | D6L | D6LX | D6LX | D7LL | D10LL | D12LL |
| m ³ /h | 4 | 8 | 8 | 16 | 22 | 30 | 37 | 50 | 65 | 65 | 130 | 175 | 280 |



Fonte: Página da Andritz¹.

1 - Disponível em: <http://www.andritz.com/se-downloads-solidbowldecanter-d_en_.pdf> Acesso em out. 2014.

3.4.4.2. Outras Tecnologias para o Desaguamento Final

O sistema de **Filtro Prensa de Placas** opera de forma intermitente, compostos por câmaras com mantas filtrantes alojadas, submetido por pressões diferenciais para liberar o filtrado e manter sólidos dentro da câmara, formando uma “torta”. Existem três tipos de filtros-prensas: filtro-prensa de placas, filtro-prensa de correria e filtro-prensa de diafragma. Assim que as tortas de lodo vão se formando dentro das câmaras a pressão de alimentando aumenta, mantendo o fluxo constante. A pressão de operação dos filtros varia de 2 a 15 bar (20 a 150 mca), podendo chegar até 20 bar em alguns casos. Os meios filtrantes normalmente utilizados são tecidos de fibras orgânicas sintéticas, como náilon e propileno (Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008).

O **Filtro a Vácuo** é um equipamento composto por um tambor em posição horizontal, suspenso e imerso a $\frac{1}{4}$ das superfícies externas em um recipiente contendo o lodo. A operação ocorre através do movimento lento do tambor (de $\frac{1}{8}$ a 1 rpm), e pressões negativas e positivas são aplicadas alternadamente, durante cada volta. Deste modo permite-se que os sólidos se depositem sobre a superfície e a água seja drenada através do lodo, sendo recolhida através da superfície filtrante (Cordeiro, 1999). Cordeiro também cita experimentos que forneceram concentração de sólidos de 20 a 40 %.

A **Prensa Desaguadora**, também conhecida como filtro prensa de esteira ou belt press, utiliza de drenagem gravitacional e pressão mecânica, sendo parte da água livre drenada na esteira superior do equipamento pela ação da gravidade. O lodo passa entre duas correias porosas móveis e tensionadas de forma contínua. O desaguamento necessita de um condicionamento químico do lodo para chegar a concentração dos sólidos de 15 a 20 %, sendo dependente das características do lodo. Por apresentar um resultado melhor, esse sistema é recomendando para lodo proveniente do abrandamento de água (Richter, 2001).

Os **Leitos de Secagem** apresentam mecanismos de desidratação da decantação, percolação (drenagem) e evaporação, sendo que durante as primeiras 72 horas, a drenagem é a responsável pela eliminação da maior parte da água livre, então o lodo adquire uma consistência pastosa e a desidratação ocorre devido à evaporação superficial (Andreoli, 2001). Reali (1999) cita algumas tecnologias dos leitos de secagem, como os leitos de secagem a vácuo, leitos de secagem de tela em cunha, leitos tradicionais e leitos pavimentados.

As **Lagoas de Lodo** são os sistemas mais antigos utilizados para o tratamento de lodo de ETA, podem ser utilizadas para armazenamento, adensamento, desaguamento, ou secagem, e em alguns casos destinada para a disposição final de resíduos sólidos (Di Bernardo *et al.*, 2002). A desidratação ocorre por drenagem e principalmente por evaporação. O dimensionamento das lagoas de lodo considera um período de carga de um ano, sendo assim mais profundas que os leitos de secagem. Ou seja, o número de cargas e o tempo de secagem são maiores, gerando um número de limpezas por ano menor (Richter, 2001).

Os **Bag's** consistem no acondicionamento do lodo em bolsas de material geotêxtil, com tecido apresentando pequenos poros que permitem a drenagem da água e a retenção dos sólidos para a secagem do lodo. Mesmo após a drenagem, a secagem continua levando em consideração que o tecido permite a passagem do vapor de água (Libânio, 2005).

4. METODOLOGIA

A descrição que segue das Unidades de Desaguamento de Lodo Proposta e Tradicional é fundamental para a apropriada compreensão de suas concepções. É detalhado o fluxo de cada afluente e efluente das etapas do desaguamento, demonstrando a correta destinação da água e do lodo em função de sua origem. Cada unidade apresenta distintos efluentes clarificados para ser recirculado à ETA com características quali-quantitativas diferentes. Um fluxograma explicativo de cada unidade demonstra a sequência operacional de desenvolvimento dos processos envolvidos, ilustrando as principais diferenças de cada unidade. Os cálculos e critérios de dimensionamento, quantificação de geração de resíduos e levantamento de custos adotados para comparação das duas unidades na Estação de Tratamento de Água de Olímpia-SP também são apresentados.

4.1. UNIDADES DE DESAGUAMENTO DE LODO

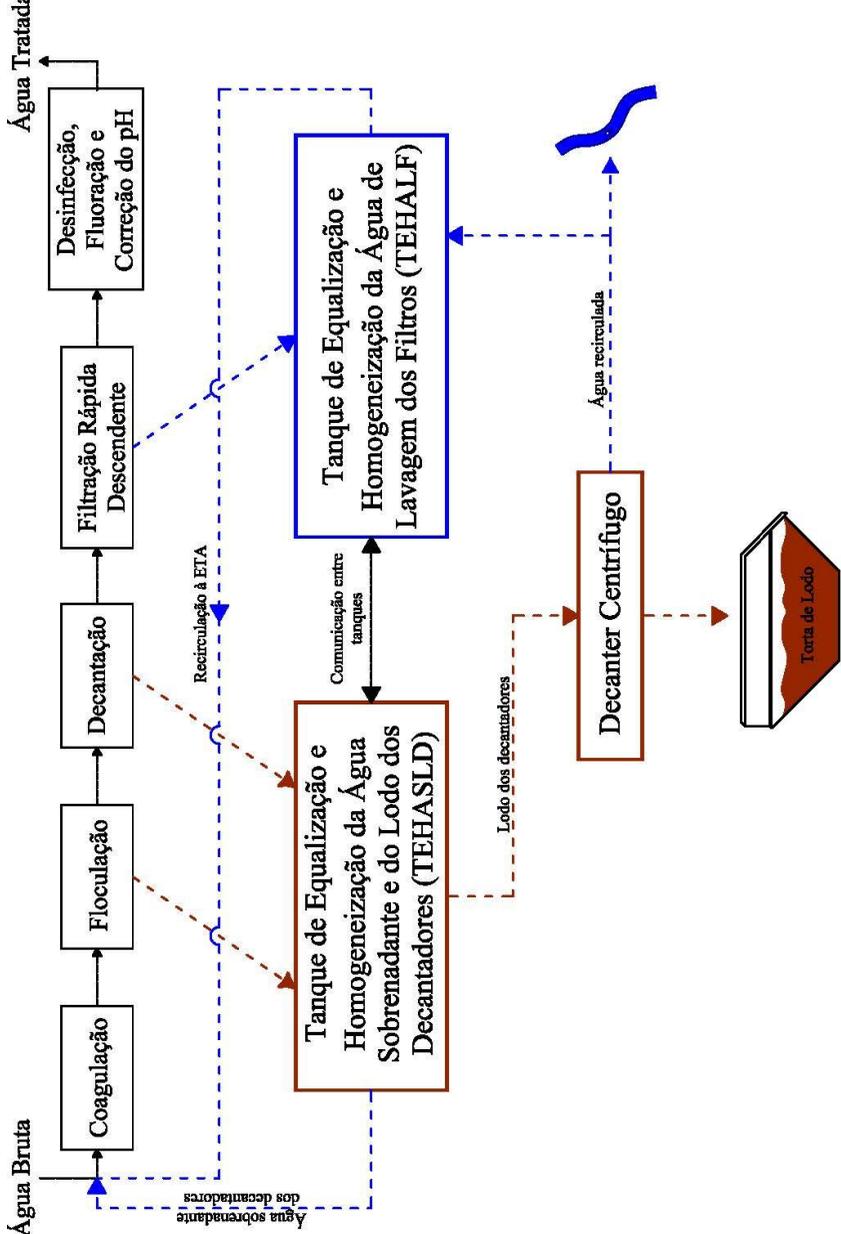
4.1.1. Unidade de Desaguamento de Lodo Proposta

É apresentado um novo conceito de Unidade de Desaguamento de Lodo que está começando a ser utilizado nas Estações de Tratamento de Água Convencionais. A UDL Proposta baseia-se em unidade que direciona o lodo dos decantadores, após sua equalização e homogeneização, diretamente ao desaguamento final, sem um pré-adensamento com adensadores, além de prever a recirculação da água de lavagem dos filtros. A UDL é composta pelas seguintes etapas:

- Tanque de equalização e homogeneização da água de lavagem dos filtros (TEHALF)
- Tanque de equalização e homogeneização da água sobrenadante e do lodo dos decantadores (TEHASLD)
- Decanter Centrífugo

A Figura 4 demonstra o fluxograma de funcionamento e operação da Unidade de Desaguamento Proposta.

Figura 4 - Fluxograma da Unidade de Desaguamento Proposta.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O TEHALF recebe a água proveniente da lavagem dos filtros, separadamente das descargas de lodo do decantador. A partir desse tanque optou-se por recircular a água de lavagem dos filtros à câmara de chegada da ETA.

Na operação da UDL Proposta pode ser estudada a opção de direcionar a água referente ao primeiro minuto de lavagem para o tanque que direcionará o efluente para os Decanter Centrífugos, eliminando grande parte dos sólidos suspensos do TEHALF.

O TEHASLD é responsável por receber diariamente as descargas dos poços de lodo dos decantadores e ocasionalmente a água sobrenadante do esvaziamento de um decantador, ou seja, a parcela da água que não acumula os sólidos sedimentados.

Durante a operação com todos os processos da ETA em funcionamento o tanque somente receberá água com alta concentração de sólidos proveniente do número de descargas diárias do lodo acumulado no decantador, variando seu volume diário e sua porcentagem de sólidos de acordo com a qualidade da água bruta e as respectivas dosagens. Esse lodo acumulado no tanque está sujeito à homogeneização resultante de misturados submersíveis e é direcionado ao Decanter Centrífugo através de duas bombas de deslocamento positivo para o desaguamento do lodo.

Quando ocorrer o esvaziamento de um decantador, devido a limpeza ocasional necessária, é removida a parcela de lodo acumulada no fundo do decantador antes de iniciar a drenagem do sobrenadante. A água sobrenadante poderá ser direcionada inicialmente para o TEHALF para utilizar o seu volume útil, não tendo problemas, pois a água presente no mesmo apresenta baixa concentração (água da lavagem dos filtros) possibilitando, também, a recirculação para a ETA. O volume total sobrenadante do decantador ocupa ambos os tanques de equalização e homogeneização, sendo a partir de duas bombas centrífugas recirculado para o início da estação de tratamento, considerando que a ETA tenha condições hidráulicas e operacionais para receber esse incremento de vazão ao sistema, operando com um decantador a menos. O tempo de recirculação total desse volume deverá ser menor que o tempo disponível entre as lavagens de filtros e as descargas de lodo para que o TEHALF e o TEHASLD possam receber seus respectivos efluentes e manter o funcionamento da UDL.

Destaca-se que os dois tanques apresentam uma interligação no fundo por uma comporta com uma haste de alongamento de duplo sentido de fluxo, possibilitando que a água sobrenadante do esvaziamento do decantador presente no TEHASLD seja recalcado para

a estação através das bombas centrífugas, pois sua sucção encontra-se no TEHALF.

O Decanter Centrífugo receberá o lodo proveniente do TEHASLD através de bombas de deslocamento positivo, recalcando o volume correspondente as descargas diárias de lodo dos decantadores, mantendo o nível do tanque sempre suficiente para que ocorra a correta homogeneização do lodo.

Num piso inferior ao Decanter estarão localizadas 4 caçambas tipo “brooks” devidamente posicionadas em cima de carretas para movimentação. Seu objetivo é acumular a torta de lodo gerada até o enchimento dos 4 metros cúbicos disponíveis em cada caçamba, podendo assim direcionar o lodo para sua destinação final.

O efluente clarificado gerado nas centrífugas poderá ser recirculado para o TEHALF ou para um corpo receptor próximo de acordo com as exigências da companhia de água e da agência reguladora de saneamento.

Para o adequado funcionamento do Decanter Centrífugo é necessário dosagem de polímero através de bombas dosadoras do tipo deslocamento positivo helicoidal, próprias para solução de polímero.

4.1.2. Unidade de Desaguamento de Lodo Tradicional

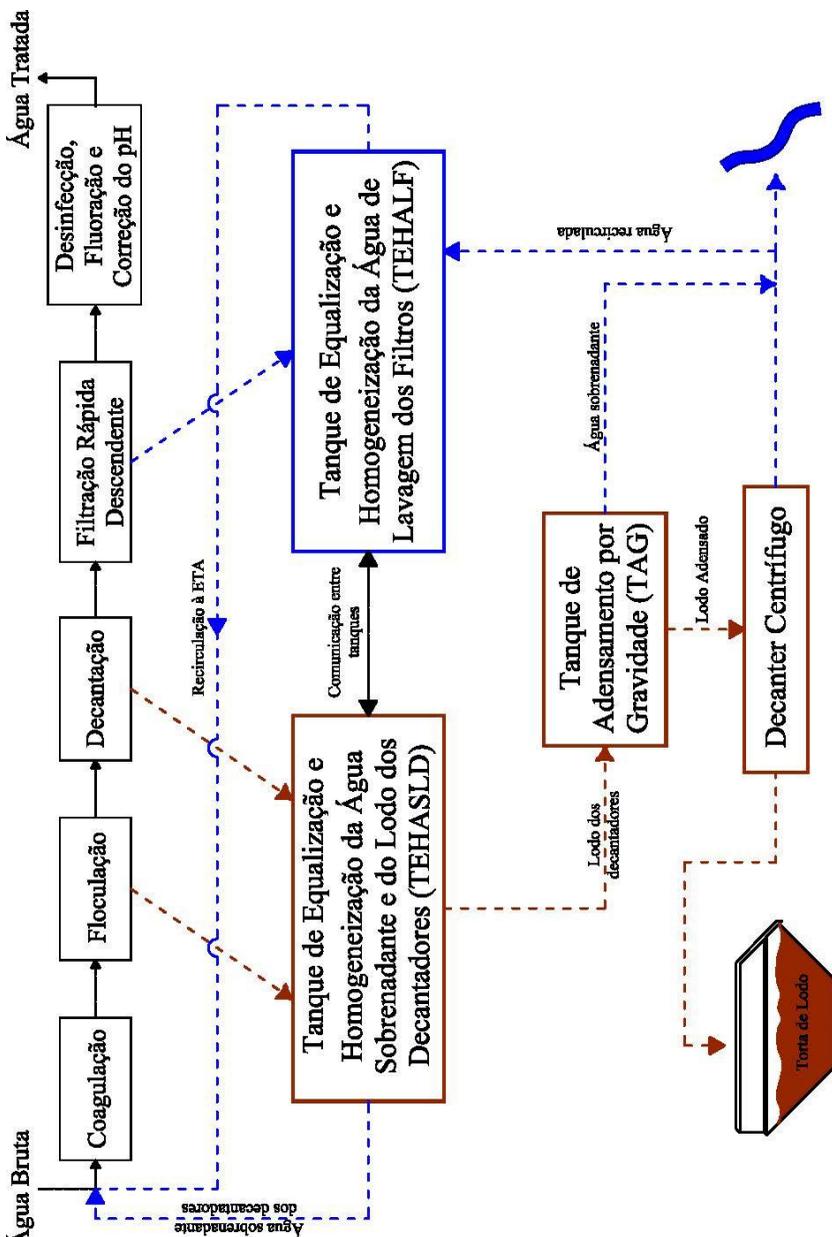
A UDL tradicionalmente utilizada é composta pelas seguintes etapas:

- Tanque de equalização e homogeneização da água de lavagem dos Filtros (TEHALF)
- Tanque de equalização e homogeneização da água sobrenadante e do lodo dos Decantadores (TEHASLD)
- Tanque de Adensamento por Gravidade (TAG)
- Decanter Centrífugo

O TEHALF, TEHASLD e o Decanter Centrífugo apresentam as mesmas funções e funcionamento da UDL Proposta e já foram citados no tópico anterior. Ou seja, a diferença das duas unidades é a presença do adensamento como etapa do processo.

A Figura 5 apresenta o fluxograma de funcionamento e operação da Unidade de Desaguamento Tradicional.

Figura 5 - Fluxograma da Unidade de Desagamento Tradicional.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Adensador receberá o lodo proveniente do TEHASLD, ou seja, do lodo acumulado no decantador decorrente de suas descargas diárias. Essa é a principal diferença da tecnologia tradicional para a UDL Proposta, pois terá uma unidade de adensamento anterior ao desaguamento final, diminuindo o volume de lodo diário direcionado para o Decanter Centrífugo e, conseqüentemente, o tamanho necessário do equipamento.

Para que o TAG tenha um adequado rendimento no adensamento do lodo é necessária aplicação de polímero com uma dosagem correta e precisa de acordo com a vazão efluente e a concentração de sólidos, supervisionada por um operador.

O efluente clarificado proveniente do TAG é direcionado para o TEHALF para ser posteriormente recirculado à ETA.

4.2. QUANTIFICAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS ATRAVÉS DE FÓRMULAS EMPÍRICAS

A Estação de Tratamento de Água de Olímpia está em construção, sendo assim necessário realizar estimativas de produção de lodo através de fórmulas empíricas.

Para determinar a produção de sólidos secos por tempo (S_s) basta multiplicar as fórmulas empíricas de geração de sólidos pela vazão da ETA.

$$S_s = P_s \times Q$$

Onde:

S_s – produção de sólidos seco por tempo (kg/dia)

P_s – produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

Q = vazão de água bruta (m³/dia);

A quantificação dos resíduos da ETA do estudo tem como base as fórmulas empíricas existentes na literatura. São apresentados a seguir os principais autores de fórmulas existentes que serviram como base dos cálculos da planilha eletrônica da UDL.

4.2.1. David A. Cornwell (1987)

$$P_s = (4,89Al + SS + A) \times 10^{-3}$$

Sendo que: $4,89Al = 0,44D$

Onde:

Al = dosagem de sulfato de alumínio, expresso como Al (mg/L);
SS = concentração de sólidos suspensos na água bruta (mg/L);
A = produtos químicos adicionados, tais como polímeros, carvão ativado, etc (mg/L);
D = dosagem de sulfato de alumínio (mg/L).

4.2.2. American Water Work Association - AWWA (1978)

$$P_S = 3,5 \times 10^{-3} T^{0,66}$$

Onde:

T – turbidez da água bruta

4.2.3. Water Research Center - WRC (1979)

$$P_S = (SS + 0,07C + H + A) \times 10^{-3}$$

Onde:

SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L)

C – cor na água bruta (uH)

H – hidróxido coagulante (mg/L)

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

4.2.4. Association Francaise Pour L'etude Des Eaux – AFEE (1982)

$$P_S = (1,2T + 0,07C + 0,17D + A) \times 10^{-3}$$

Onde:

T – turbidez da água bruta (uT)

C – cor aparente da água bruta (uH)

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

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

4.2.5. CETESB

$$P_S = (0,26D + SS) \times 10^{-3}$$

Onde:

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

SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L)

4.2.6. Kawamura (1991)

$$P_S = (D \times k_2) + (T \times k_1) \times 10^{-3}$$

Onde:

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

k_2 – fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio. Usualmente varia entre 0,23 a 0,26.

k_1 – razão entre a concentração de sólidos suspensos totais presentes na água bruta e turbidez da mesma.

4.2.7. Carlos A. Richter (2001)

$$P_S = (0,2C + k_1T + k_2D) \times 10^{-3}$$

Onde:

T – turbidez da água bruta (UNT)

C – cor da água bruta (°H)

D – dosagem do coagulante (mg/L)

k_1 – coeficiente de relação entre sólidos suspensos totais e turbidez, variando de 0,2 a 2,0 (valor usual: $k_1=1,3$)

k_2 – coeficiente de relação estequiométrica na formação de precipitado de hidróxido. Sulfato de alumínio: $k_2 = 0,26$. Cloreto Férrico: $k_2 = 0,40$.

Sulfato Férrico: $k_2 = 0,54$

4.2.8. Considerações

Visando melhorias de resultados e acompanhamento dos processos e variações da qualidade da água, as ETAs precisam realizar análises laboratoriais regularmente para uma adequada operação. O principal parâmetro analisado rotineiramente nas estações é a turbidez, devido à facilidade e rapidez de suas análises com turbidímetros de bancada e de processo. Estações que se limitam a análise somente da turbidez podem estabelecer um coeficiente de relação entre sólidos suspensos totais e turbidez, sendo o ideal a realização de diversas amostras para diferentes condições climáticas (ampla variação de turbidez do corpo d'água).

Quando não existir esse estudo, pode-se estabelecer valores entre 0,2 a 2,0 para a relação entre sólidos suspensos totais e turbidez (SST em mg/L e turbidez em uT), como comentando anteriormente na fórmula de Richter, admitindo-se valores mais baixos para águas de baixa turbidez e/ou de elevado teor de matéria orgânica, já para valores

mais altos para águas de turbidez elevada e muito mineralizada, assumindo 1,0 para valores de turbidez menores que 100 UNT. O valor usual admissível usado na maioria das situações é 1,3 (Richter, 2001). Essa mesma relação é comentada por Cornwell *et al.* (1987), estabelecendo valores entre 1,5 a 2,2. Segundo Cordeiro (2001), pode ser utilizado o valor de 1,5 para correlacionar esses parâmetros.

4.3. CÁLCULOS E CRITÉRIOS UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO DAS ETAPAS DAS UNIDADES

Os cálculos e critérios utilizados no dimensionamento são aplicados em uma Planilha de Cálculo Integrada das duas UDLs, a proposta pelo trabalho e a tradicionalmente utilizada, possibilitando uma análise comparativa eficiente. A planilha terá todo seu dimensionamento automatizado a partir das mudanças nos dados de entrada e das informações da ETA em questão, alterando diretamente, por exemplo, o volume e dimensões dos tanques de equalização e homogeneização, vazão de operação das bombas, tamanho do adensador, capacidade dos Decanters Centrífugos, etc. Os principais dados de entrada da ETA são: tempo de lavagem médio, taxa de lavagem e dimensões dos filtros, carreira de filtração, número de filtros e dimensões do decantador. Para o dimensionamento da UDL é possível modificar alguns valores de acordo com critérios adotados pelo projetista, como o tempo de adução e operação das bombas e equipamentos (como o adensador e a centrífuga), diâmetro das tubulações e massa específica dos sólidos secos presentes na água.

As fórmulas empíricas para quantificação de resíduos gerados numa ETA servirão como base para o dimensionamento. Os dados de entrada para a quantificação de sólidos secos são a vazão de água bruta da ETA, a turbidez da água bruta (ou concentração de sólidos em suspensão), a dosagem de sulfato de alumínio (expressa com $Al_2(SO_4)_3$ ou Al), a cor da água bruta e outros possíveis produtos químicos adicionados como polímeros, carvão ativado e hidróxidos.

4.3.1. Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros

O Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros é dimensionado de acordo com as características dos filtros e da lavagem de filtros. A partir da taxa de lavagem dos

filtros (T_L) e a da área de cada filtro (A_F) é possível determinar a vazão de lavagem (Q_L).

$$Q_L = T_L A_F$$

O volume do TEHALF (V_{TLF}) é estipulado para receber o volume de água proveniente de 60 % do número de filtros (N_F) da ETA, de acordo com o tempo de lavagem (t_L) utilizado.

$$V_{TLF} = Q_L \times t_L \times (\sim 60\% \times N_F)$$

A altura do tanque pode variar de acordo com declividade do terreno, características do solo e espaço disponível, achando um equilíbrio entre a carga hidráulica necessária para receber as descargas e o custo da obra (principalmente de escavação). Para terrenos mais planos é comum adotar uma altura de 3,4 metros. A relação comprimento e largura estabelecida como 1,4 vezes maior.

Adota-se 1 ou 2 misturadores submersíveis para a homogeneização da água, de acordo com as recomendações do fabricante.

Para calcular a concentração dos efluentes da estação é adotado que os sólidos secos provenientes da água bruta são acumulados 90% nos decantadores e 10% nos filtros. A eficiência de retenção de sólidos dos filtros é estabelecida como 99%.

$$P_S = 0,9P_{SD} + 0,1P_{SF}$$

Assim, com a produção de sólidos secos retidos nos filtros (P_{SF}) é possível calcular a massa de sólidos acumulada num filtro e a concentração da água de lavagem de acordo com o volume de água utilizado para a retrolavagem de um filtro (V_{1F}). O volume diário de água da lavagem dos filtros (V_{LF}) está relacionado com o volume de água utilizado na lavagem de um filtro, o número de filtros (N_F) e carreira de filtração dos filtros (CF), conforme a fórmula a seguir.

$$V_{LF} = \frac{V_{1F} \times N_F \times 24}{CF}$$

O tempo disponível entre lavagens de filtros (t_{LF}) é a relação entre a carreira de filtração e o número de filtros. São adotadas duas bombas de deslocamento positivo (1 + 1 reserva) para o

recalque/recirculação da água de lavagem dos filtros com uma vazão de adução da água dos filtros (Q_{af}) superior às relações volume da água de lavagem de um filtro com tempo disponível entre lavagens e volume diário de água de lavagem dos filtros com um período de 24 horas.

$$Q_{af} > \frac{V_{1F}}{t_{LF}} e \frac{V_{LF}}{24} \text{ sendo que } t_{LF} = \frac{CF}{N_F}$$

Lembrando que a vazão de adução da água dos filtros dividida pela vazão da ETA deverá ser menor que 10%.

Para confirmar a adequada escolha da vazão da bomba para recalque da água de recirculação do tanque ao início do tratamento é feita uma simulação das primeiras 48 horas de operação, incluindo a vazão de recirculação das unidades de adensamento e desidratação final. Na simulação é considerada uma altura mínima de lâmina de água no tanque para uma adequada e continua homogeneização proveniente dos misturadores.

4.3.2. Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores

4.3.2.1. Dimensionamento em Função do Lodo Acumulado no Decantador

A produção de massa de sólidos secos gerados no decantador por tempo (S_{SD}) é resultado da média das equações empíricas da produção de sólidos secos por volume tratado (P_{SD}) multiplicado pela vazão da estação (Q) e pelo rendimento da unidade de decantação (η). Como já citado, o rendimento da decantação é adotado como 90%.

$$S_{SD} = (\eta_d P_S)Q$$

Para encontrar a produção de massa de lodo gerado no decantador (S_{LD}) é necessário dividir a produção de massa de sólidos secos (S_{SD}) pela concentração do lodo acumulados e descarregados dos poços de lodos do decantador (C_D). É adotado um valor de 1% referente a uma situação não ideal de operação, visando o cálculo de uma parcela maior de lodo gerado para ter segurança operacional do sistema.

$$S_{LD} = \frac{S_{SD}}{C_D}$$

Para calcular o volume de lodo necessário a ser extraído do decantador é preciso conhecer sua massa específica ou densidade. Como já citado e explicado na fundamentação teórica, é adotado um valor de 1.800kg/m^3 para a massa específica dos sólidos secos (ρ_s) coagulados com sais de alumínio ou ferro. Assim, a massa específica do lodo (ρ_L) pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\rho_L = \frac{1}{\frac{C_D}{\rho_s} + \frac{1 - C_D}{\rho_a}}, \text{ em que } \rho_a = \text{massa específica da água} = 1.000\text{kg/m}^3.$$

A partir da massa específica do lodo (ρ_L) podemos determinar, finalmente, o volume de lodo gerado (V_{LD}):

$$V_{LD} = \frac{S_{LD}}{\rho_L}$$

Para efeito de comparação da geração de lodo com a vazão de produção de ETA é calculado a taxa de sólidos totais.

$$T_{ST} = \frac{V_{LD}}{Q_{ETA}}$$

O TEHASLD tem que absorver o total de lodo gerado no decantador pelo menos num período de um dia, ou seja, o volume do tanque tem que ser igual ou maior que o volume diário gerado (V_L).

O Decanter Centrifugo recebe o lodo a partir do TEHALF na UDL Proposta. Para especificar a vazão dessa bomba de deslocamento positivo basta dividir o volume diário de lodo gerado (V_{LD}) pelo tempo de operação do Decanter Centrifugo.

$$q_{dc} = V_{LD}/t_{dc}$$

4.3.2.2. Dimensionamento em Função do Esvaziamento do Decantador

O TEHASLD é projetado para receber, além das descargas de lodos, a água sobrenadante do decantador quando houver a necessidade de esvaziamento de uma unidade para manutenção, sendo esse volume recirculado à estação.

Para calcular esse volume basta ter as dimensões do decantador: comprimento, largura e altura.

Sendo assim, o volume do TEHASLD é correspondente ao maior volume calculado entre o volume diário de lodo gerado (VL) ou volume de esvaziamento do decantador (VE).

O recalque/recirculação do sobrenadante do decantador à ETA é realizado por duas bombas centrífugas (1 + 1 reserva) para uma vazão correspondente à adução da água sobrenadante do decantador (não incluindo o volume destinado a receber o lodo decantador) durando um tempo adotado de 5 horas. As bombas são instaladas no TEHALF em paralelo com as bombas responsáveis pela recirculação da água de lavagem dos filtros. Há uma interligação entre os dois tanques através de uma comporta em sua parede em comum, podendo ser aberta ou fechada de acordo com o objetivo operacional.

Adota-se 1 ou 2 misturadores submersíveis para a homogeneização da água, de acordo com as recomendações do fabricante.

4.3.2.3. Estimativa das Vazões de Descarga com Tubo Extrator no Decantador

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz, (2008), a vazão de descarga de um tubo extrator (q_{te}) pode ser estimada pela seguinte equação.

$$q_{te} = C_d S_t \sqrt{2gh_d}$$

Sendo que:

C_d = coeficiente de descarga (para orifícios normalmente é utilizado o valor de 0,62);

S_t = seção do tubo de descarga (m^2);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

h_d = carga hidráulica disponível (m) – diferença do nível da água do decantador e parte superior do tubo de descarga.

Cada decantador apresenta uma série de orifícios com tubos extratores, assim a vazão total descarregada (Q_d) é o somatório de todos os orifícios, ou seja, a vazão de descarga de um tubo extrator vezes o número de tubos extratores (N_{te}). Como a vazão total de descarga é possível dimensionar as tubulações que direcionam os lodos aos tanques.

Conhecendo a vazão de descarga gerada pela carga hidráulica a partir do nível de água do decantador sabemos o volume descarregado de acordo com o tempo de extração de lodo (t_e) e o número de extrações diárias do lodo (N_e) na operação. Estima-se um total de 5 extrações diárias de lodo para as condições operacionais críticas, de acordo com o dimensionamento da UDL. Estima-se o tempo de extração de lodo necessário na operação nessas condições conforme a fórmula a seguir.

$$t_e = \frac{V_{LD}}{N_e \times N_{dec} \times Q_d}$$

Sendo N_{dec} igual ao número de decantadores da estação.

É importante ressaltar que durante a abertura e o fechamento das válvulas que controlam as descargas de lodo uma boa parcela do lodo é descarregada dos decantadores, diminuindo assim o tempo necessário de extração de lodo (considerando apenas o tempo em que a válvula permanece aberta). Caso a vazão e o volume de lodo extraído durante a abertura e fechamento das válvulas sejam uma grande parcela do volume necessário a ser descarregado é viável controlar a abertura das válvulas, abrindo-as parcialmente para evitar a extração em excesso da parcela líquida da água que diminui a concentração de sólidos no TEHASLD.

4.3.3. Tanque de Adensamento por Gravidade

O Tanque de Adensamento por Gravidade (TAG) é dimensionado em função da taxa de aplicação (ou de carga) de sólidos (TCS) para um valor de 50 kgSST/m²dia. Sendo assim, podemos determinar o diâmetro do TAG a partir da área de adensamento necessária (A_{ad}) que é calculada pela seguinte fórmula.

$$A_{ad} = \frac{Q_r}{TAS}$$

Sendo que Q_r refere-se à vazão de regularização do efluente do TEHASLD, igual ao volume gerado no decantador (V_{LD}).

O TAG é construído com concreto armado e tem uma altura de 4 metros. O raspador de lodo é adquirido separadamente, proveniente de um orçamento com algum fabricante, seguindo as dimensões e características do adensador.

A taxa de carga de sólidos poderá ser estabelecida a partir da seguinte fórmula.

$$TCS = \frac{V_{LD}}{A_{ad}}$$

É adotado uma concentração média de sólidos no lodo adensado de 35 kgSS/m^3 ($C_{LA} = 3,5\%$) e um rendimento de precipitação de sólidos de 95% (η_a). Então, a produção diária de sólidos secos no adensador (S_{SA}) e a produção diária de lodo adensado (S_{LA}) são determinados pelas seguintes fórmulas.

$$S_{SA} = \frac{S_{Sd}}{\eta_a} \quad S_{LA} = \frac{S_{Sa}}{C_{LA}}$$

Para determinar o volume de diário de lodo adensado (V_{LA}) é preciso determinar a massa específica do lodo adensando (ρ_{LA}).

$$\rho_{LA} = \frac{1}{\frac{C_{LA}}{\rho_s} + \frac{1 - C_{LA}}{\rho_a}} \quad V_{LA} = \frac{S_{La}}{\rho_{LA}}$$

O volume de água sobrenadante recirculada do adensador (Q_{Ra}) é a diferença do volume proveniente dos decantadores (V_{LD}) e o volume de lodo adensado.

$$Q_{Ra} = V_{LD} - V_{LA}$$

A concentração de sólidos do efluente clarificado (C_{ce}) é igual à quantidade de sólidos secos presente no efluente clarificado (S_{Se}) dividido pelo volume diário de água sobrenadante do adensador.

$$S_{Se} = S_{SD} \times (1 - \eta_a) \quad C_{ce} = \frac{S_{Se}}{Q_{Ra}}$$

O Decanter Centrífugo recebe o lodo a partir do TAG na UDL Tradicional. Para especificar a vazão dessa bomba de deslocamento positivo basta dividir o volume diário de lodo adensado gerado (V_{LA}) pelo tempo de operação do Decanter Centrífugo.

$$q_{dc} = V_{LA}/t_{dc}$$

A dosagem de polímero para o adensamento do lodo é considerada de 2mg/L, com pureza de 98% e em dosagens de 1kg/m³ (0,1%). A quantidade a ser dosada é calculada em função da vazão afluyente do TAG, ou seja, a vazão de regularização (Q_R). São consideradas duas bombas dosadoras (1 + 1 reserva) do tipo deslocamento positivo helicoidal próprias para solução de polímero. O tipo e a quantidade de polímero devem ser estudados no início de operação da Unidade, sendo apenas previstos nesse dimensionamento. O lodo nem sempre apresenta carga elétrica positiva, dependendo principalmente do seu pH. As características do polímero que podem ter efeito significativo nos resultados dos ensaios são principalmente a sua densidade de carga (se aniônico ou catiônico) e o seu peso molecular (salienta-se que polímeros de alto peso molecular nem sempre tem o melhor resultado na desidratação do lodo).

4.3.4. Decanter Centrífugo

O Decanter Centrífugo recebe o lodo proveniente do TEHALF na UDL Proposta e do TAG na UDL Tradicional, portanto a sua capacidade (q_{dc}) é diferente para cada caso, recebendo o volume gerado de lodo gerado nos decantadores e nos adensadores, respectivamente. O tempo de operação do Decanter Centrífugo (t_{dc}) é adotado em 18 horas diárias.

$$\text{UDL Proposta: } q_{dc} = V_{LD}/t_{dc} \quad \text{UDL Tradicional: } q_{dc} = V_{LA}/t_{dc}$$

A concentração da torta de lodo (C_T) gerada pela Decanter tem como valor médio adotado em 24% ou 240kg/m³. Adota-se como concentração do efluente clarificado do Decanter Centrífugo (C_A) um valor pequeno de 0,05%. Sendo assim, podemos determinar a produção da massa de torta de lodo por tempo na UDL Proposta (T_P) e na UDL Tradicional (T_T) pelas seguintes fórmulas:

$$T_P = \frac{C_D - C_A}{C_T - C_A} \times S_{LD} \quad T_T = \frac{C_{LA} - C_A}{C_T - C_A} \times S_{LA}$$

Definindo a massa específica da torta de lodo (ρ_T) podemos avaliar o volume da torta de lodo (V_T) para ambas as unidades. Lembrando que a massa específica dos sólidos secos (ρ_S) é considerada 1800kg/m³ e a densidade da água (ρ_a) é igual a 1000kg/m³.

$$\rho_T = \frac{1}{\frac{C_T}{\rho_S} + \frac{1 - C_T}{\rho_a}} \quad V_T = \frac{T}{\rho_T}$$

A produção de água a ser recirculada no Decanter Centrífugo é a diferença entre a produção de massa de lodo decantado (S_{LD}) ou lodo adensado (S_{LA}) e a produção de massa da torta de lodo, para a UDL Proposta e a UDL Tradicional respectivamente. Como a concentração de sólidos desse efluente é muito baixa, sua massa específica é praticamente igual a da água, sendo assim possível terminar o volume/vazão de água produzida (Q_A).

$$A = S - T \quad Q_A = \frac{S_{LA} - T}{\rho_a}$$

A recirculação do efluente das centrífugas é por gravidade, não necessitando a instalação de bombas.

A dosagem de polímero para o desaguamento final do lodo no Decanter Centrífugo é considerada de 5g/kgSS, ou seja, 5g de polímero para cada kg de sólido seco no afluente, com pureza de 98% e em dosagens de 1kg/m³ (0,1%). A quantidade a ser dosada é calculada em função da produção de sólidos secos afluente ao desaguamento em função do número de horas de operação do Decanter, considerando o S_{SA} para a UDL Tradicional e o S_{SD} para a UDL Proposta. São consideradas duas bombas dosadoras (1 + 1 reserva) do tipo deslocamento positivo helicoidal próprias para solução de polímero.

4.4. LEVANTAMENTO DO CUSTO GLOBAL DAS UNIDADES

4.4.1. Orçamento de Obras Cíveis

Para levantar o orçamento das obras cíveis necessárias para a implantação e construção de cada Unidade de Desaguamento de Lodo é utilizada como base uma Planilha Orçamentária de Obras Cíveis da Unidade de Desaguamento de Lodo da Estação de Tratamento de Água de Olímpia, São Paulo. A planilha foi desenvolvida e disponibilizada pela empresa HIDRÁULICA ENGENHARIA LTDA., situada em Florianópolis-SC.

A planilha apresenta uma série de linhas contendo os serviços e obras a serem desenvolvidos durante a construção da unidade com os respectivos preços de referência, preços unitários, quantidades e preços totais.

O preço de referência para cada atividade é a base de precificação do orçamento e os valores são referentes às bases como o Relatório de Composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), sistema responsável pela elaboração e análise de orçamentos, estimativas de custos, reajustamentos de contratos e planejamentos de investimentos, e o Banco de Preços de Obras e Serviços de Engenharia da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que contém a tabela de preços de serviços de engenharia e insumos básicos de materiais, equipamentos e mão-de-obra.

O preço unitário de cada item é estabelecido a partir da multiplicação do preço de referência com o BDI (Benefícios e Despesas Indiretas), o qual é assumido um valor de 1,30. O BDI inclui ao preço unitário todos os custos que não são diretamente relacionados à atividade, ou seja, estipula os custos indiretos necessários aos serviços e obras como, por exemplo, impostos, imprevistos, lucros, juros, etc.

O preço total de cada item é a multiplicação da quantidade com o preço unitário de acordo com a unidade de referência, como metros, metros quadrados, metros cúbicos, metros cúbicos por quilômetros quadrados, quilos, etc. Assim, o custo total de obras cíveis da UDL é o somatório de todos os preços totais de cada obra e serviço necessário.

Visando a simplificação dos resultados a serem apresentados os custos de obras cíveis são subdivididos em seis fontes de custos:

1. Custos Estruturais: concreto estrutural fck = 40,0mpa (custos com execução e material); ancoragens e escoramentos; estaqueamento;

armaduras; concreto não estrutural; cimbramentos de madeira; impermeabilização; bombeamento de concreto e núcleo perdido; alvenaria de tijolos cerâmicos; chapisco, emboço e reboco (piso, tetos e paredes).

2. Custos com Serviços Técnicos: projetos complementares (projeto elétrico e de automação); sondagem a percussão; cadastro de obras localizadas; cadastro técnico do empreendimento.

3. Custos com Movimentação de Materiais: preparo do terreno (limpeza mecanizada); serviços topográficos (locação e nivelamento de obras); trânsito e segurança (tapume de vedação e fita plástica); escoramento contínuo; escavação mecanizada de valas, poços e cavas (diferentes profundidades e tipos de solos); escavação em rochas; aterro/reaterro de valas, poços e valas; carga, transporte e descarga (solo, rocha e entulho); esgotamento com bomba.

4. Custos com Instalações Hidráulicas: carga, descarga, assentamento e montagem de tubos e conexões; montagem de comporta; montagem eletro-mecânica de conjunto moto-bomba; fornecimento e instalação dos equipamentos de içamento (perfil I, monovia, talhas e troles); instalação de misturadores.

5. Custos com Instalações Elétricas e de Automação: sistema de atuação pneumática de válvulas (controle lógico programável e outros); instalações elétricas externas (luminárias, quadros de comando, fiações e outros).

6. Outros Custos: pintura látex acrílica, esmalte e de logotipo; drenagem (calha de concreto); guarda corpo; escada tipo marinho com gaiola de proteção; paisagismo (plantio de grama e árvores); revestimento com pedrisco; assentamento do meio-fio.

O principal e maior custo entre os seis citados é o custo estrutural que está relacionado diretamente ao volume de concreto estrutural necessário para construção da UDL. Ou seja, o aumento ou diminuição do concreto estrutural utilizado reflete proporcionalmente nos outros custos. Com o intuito de estipular o custo de obras civis total de outras Unidades de Desaguamento de Lodo é estabelecida uma proporção constante dos custos estruturais com os demais custos, conforme a tabela a seguir.

Tabela 2 - Relação dos Custos de Obras Civas em Relação aos Custos Estruturais de uma UDL.

| Custos De Obras Civas de Unidades de Desaguamento de Lodos | |
|--|-------|
| Estruturais (para X m ³ de concreto estrutural) | 100% |
| Serviços Técnicos | 9,4% |
| Movimentação de Materiais | 19,5% |
| Instalações Hidráulicas | 9,3% |
| Instalações Elétricas e de Automação | 17,9% |
| Outros Custos | 13,9% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.4.2. Orçamento de Materiais e Equipamentos

O levantamento do orçamento dos materiais de cada Unidade de Desaguamento de Lodo é utilizado como base uma Planilha Orçamentária de Materiais da Unidade de Desaguamento de Lodo da Estação de Tratamento de Água de Olímpia, São Paulo. A planilha também foi desenvolvida e disponibilizada pela empresa HIDRÁULICA ENGENHARIA LTDA., situada em Florianópolis-SC.

A planilha apresenta uma série de linhas contendo os materiais existentes na unidade com as descrições dos materiais, o material, a quantidade, o custo unitário e o custo total.

Os preços unitários dos materiais foram levantados principalmente contatando representantes de fabricantes de cada material. Também foi usado o Relatório de Insumos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Visando a simplificação dos resultados a serem apresentados os custos de materiais e equipamentos são subdivididos em nove fontes de custos:

- 1. Custo do SKID de desidratação de lodo**
- 2. Custos das Peças:** inclui adaptador de PVC e adaptador de ferro fundido para mangueira, curvas com flanges, joelhos com junta roscável e soldável, luva, mangueira plástica, niple e de ferro galvanizado, reduções de ferro, sino de sucção, tês e uniões de PVC e ferro.
- 3. Custos das Comportas:** comportas quadradas de duplo sentido de fluxo com acionamento por volante ou pedestal;

- haste de prolongamento para comporta com luvas de união das hastes; mancal intermediário para haste de prolongamento.
4. **Custos das Tubulações:** tubos de ferro fundido dúctil com flanges e ponta e flange de diferentes diâmetros; tubos de ferro galvanizado a fogo com junta roscável; tubo de PVC com junta soldável.
 5. **Custos das válvulas:** válvulas borboleta com flanges e acionamento pneumático de diferentes diâmetros; válvulas de esfera termoplástica com extremidade roscável de diferentes diâmetros; válvulas de gaveta com flange e cabeçote, cunha de borracha e corpo curto; válvulas de pé e crivo; válvulas de retenção entre flanges com fechamento rápido; pedestal de manobra para válvula gaveta.
 6. **Custos das Bombas:** conjunto moto-bomba de eixo horizontal para a recirculação do sobrenadante dos decantadores para concentrações de sólidos de 0,001 a 0,01%; conjunto moto-bomba para recirculação da água de lavagem dos Filtros para concentrações de sólidos entre 0,01 a 0,1% - bomba de deslocamento positivo com rotor helicoidal.
 7. **Custos dos Containers:** caçambas de aço tipo “brooks” com capacidade para 4,0m³; carreta para movimentação das caçambas.
 8. **Custos dos Misturadores:** misturador horizontal compacto para o tanque de 200m³; misturador horizontal compacto para o tanque de 600m³.
 9. **Custo do Raspador de Lodo:** ponte removedora de lodo tipo ponte de acionamento central para tanque circular.

O SKID de desidratação do lodo representa o maior custo entre os citados, incluindo projetos, materiais, montagem mecânica e elétrica e testes em fábrica. Os materiais do SKID são um Decanter Centrífugo, um painel elétrico inversor (painel de força/inversor), um misturador estático inox, um mangote de alimentação, dois preparadores de polímero (inclui dosador, misturador, válvulas, agitadores, medidor de vazão e nível, filtro de água e o próprio tanque de mistura e maturação da solução) e duas bombas dosadoras. Também está incluso o comissionamento e o start up. Sendo assim, o custo do SKID serve como base para a precificação das unidades e terá seu valor proporcional

ao custo de apenas o decanter centrífugo, conforme é contatado com o fabricante.

Além do SKID, apenas os custos das bombas também aumenta na UDL Tradicional em comparação com a UDL Proposta, pois novas bombas são necessárias para o funcionamento da unidade. Sendo assim, foi previsto um incremento de 20% no custo total de bombas. O custo do Raspador de Lodo apenas é incluso na UDL Tradicional devido à presença de um adensador. Os outros custos são os mesmos para as duas unidades.

4.4.3. Custos de Demanda e Consumo de Energia Elétrica

Para estabelecer o custo de energia elétrica anual é preciso estimar a potência total de cada equipamento existente e operando nas UDLs. Um quadro contendo os equipamentos de cada unidade precisa ser criado. Os conjuntos moto-bomba terão suas potências (P_B) levantadas de acordo com a vazão (Q_B), altura manométrica (H_{man}) de operação e seu rendimento (η_B). As potências dos misturados dos tanques, dos decanters centrífugos e do raspador de lodo do adensador são determinadas a partir de informações fornecidas pelos fabricantes.

Os misturadores funcionam 24 horas para a devida homogeneização. O raspador de lodo e os conjuntos moto-bomba para adução ao tanque de adensamento por gravidade e ao decanter centrífugo operam com o mesmo número de horas de cada equipamento. A potência da bomba de recirculação da água sobrenadante dos decantadores não foi considerada na demanda a ser contratada, devido ao fato que é somente acionada a cada 2 meses durante 5 minutos.

Para calcular o tempo diário médio de operação do conjunto moto-bomba de recirculação à ETA (t_{OB}) é preciso conhecer o volume diário afluyente ao tanque (V_{DA}) com o volume mínimo de operação do tanque para adequada homogeneização (V_{min}) e dividi-los pela vazão de adução da água dos filtros (Q_{af}). O volume diário afluyente ao tanque é soma do volume diário da água de lavagem dos filtros (V_{LF}) com o volume diário recirculado ao TEHALF (Q_A).

$$t_{OB} = \frac{V_{min} + V_{DA}}{Q_{af}} = \frac{V_{min} + V_{LF} + Q_A}{Q_{af}}$$

A partir da potência estimada total dos equipamentos utilizados na unidade em kW e a potência utilizada diariamente em kW/h é

possível determinar os custos de demanda e consumo de energia elétrica, respectivamente. A cobrança é feita a partir da modalidade tarifária convencional em que a tarifa de consumo é multiplicada pelo consumo medido (estimado) e a tarifa de demanda pela demanda contratada. A tarifação utilizada na ETA de Olímpia-SP é de 19,363 R\$/kW para a demanda e de 0,1904085 R\$/kWh para o consumo, já considerando um desconto de 15% atribuídos as companhias de serviços de água. Os valores são convertidos em custos anuais para determinar o dispêndio anual com energia elétrica de cada unidade.

4.4.4. Análise do Custo Global

É feita uma comparação dos dispêndios entre as duas UDLs supondo que os projetos são financiados. Segundo a Caixa Econômica Federal, para projetos da modalidade abastecimento de água que se destinam à promoção de ações que visem o aumento da cobertura ou da capacidade de produção do sistema de abastecimento de água, os juros do financiamento são definidos à uma taxa nominal (i) de 6% ao ano em até 240 meses. O período (n) normalmente utilizado e que é adotado para efeito de comparação é de oito anos (96 meses) para a amortização.

Para simular o financiamento e comparar as alternativas é utilizado o método do Valor Anual Equivalente (VAE), muito utilizado em análises de investimentos. O método consiste em transformar o fluxo de caixa do investimento em um fluxo de caixa uniformemente distribuído, sendo necessário estabelecer o Valor Líquido Presente (VLP) de cada alternativa para análise para transformar o valor em uma série uniforme.

$$VAE = VLP \times \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n - 1}$$

O VLP é constituído pelos custos de obras civis, equipamentos e materiais de cada alternativa. Então, são somados ao VAE de cada unidade os custos de demanda e consumo de energia elétrica para efeito de comparação.

Supondo que o VLP seja amortizado, sem financiamento, com o capital disponível no momento, é calculado o tempo necessário para igualar o investimento de acordo com a diferença de custo anual de energia elétrica.

4.5. ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE OLÍMPIA-SP

Para efeito de tornar possível a análise comparativa das UDLs, a Planilha de Cálculo Integrada é aplicada ao novo Projeto do Sistema Produtor de Água Tratada Cachoeirinha, referente ao projeto da Estação de Tratamento de Água do Município de Olímpia-SP. Ou seja, todos os cálculos e critérios utilizados no dimensionamento das duas unidades e o levantamento dos custos globais são aplicados nessa estação.

O município de Olímpia está localizado na região do Aquífero Guarani, no noroeste paulista. Sua localização geográfica é 20° 44' 13" S e 48° 54' 54" O. Está a 429 km da capital São Paulo. As cidades vizinhas, todas dentro do estado de São Paulo, são: São José do rio Preto (50 km), Barretos (49 km), Bebedouro (53 km), Catanduva (52 km), Guapiacú (29 km), Guaraci (34 km), Tabapuã (28 km) e Icem (52 km). Fica a 135 km de Ribeirão Preto.

A população total segundo dados do Censo do IBGE do ano de 2000 era de 46.013 habitantes, tinha uma população urbana de 42.643 habitantes, uma população rural de 3.370 habitantes. Olímpia segundo o censo do IBGE de 2009 tem uma população urbana de 50.602 habitantes. Possui uma área de 803,509 km² e está numa altitude média de 506 metros acima do nível do mar.

É apresentada a descrição dos dados e informações relacionados à execução do projeto da Unidade de Desaguamento de Lodo da ETA município a partir de dados disponíveis do projeto da estação e características da água do Rio Cachoeirinha. O sistema produtor deverá ser projetado para uma capacidade máxima de 500 m³/h.

A hidrografia da região identifica os rios Turvo, Cachoeirinha e o ribeirão Olhos d'água. O rio Cachoeirinha, afluente do rio Turvo, nasce no município de Monte Azul Paulista, atravessa Severínia e, continuando a noroeste, atravessa Olímpia e deságua no rio Turvo, próximo a Altair. O seu curso total tem cerca de 74 quilômetros.

No dimensionamento das unidades é importante a busca por alternativas caracterizadas pela mais nova e atual tecnologia e que garantam a estabilidade do sistema mesmo nas condições operacionais mais críticas, relacionados com a variação da qualidade da água do rio Cachoeirinha, o que ocorre em geral nos períodos identificados por uma maior precipitação pluviométrica.

Conforme informado, as águas do rio Cachoeirinha caracterizam-se por valores baixos de cor aparente e turbidez ao longo do ano, além de baixos níveis de colimetria. Assim, é preciso levantar análises do rio

no período com maior precipitação pluviométrica do município, sendo entre dezembro e fevereiro (durante o verão), tendo como janeiro o mês com maior precipitação média, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Precipitação Média Mensal em Olímpia-SP.

| Precipitação Média Mensal (mm) no município de Olímpia entre o período de 1961-1990 | | | |
|---|-------|----------|-------|
| Janeiro | 244,5 | Julho | 20,2 |
| Fevereiro | 177,0 | Agosto | 18,1 |
| Março | 145,1 | Setembro | 45,9 |
| Abril | 97,4 | Outubro | 89,4 |
| Maior | 46,2 | Novembro | 130,4 |
| Junho | 23,1 | Dezembro | 216,2 |

Fonte: Website do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).

4.6. VISITA À UNIDADE DE DESAGUAMENTO DE LODO DA ETA MIRINGUAVA

A Estação de Tratamento de Água Miringuava localiza-se no município de São José dos Pinhais no Estado do Paraná, pertencente a Grande Curitiba. A estação utiliza a tecnologia convencional com misturador rápido (Calha Parshall), floculadores hidráulicos, decantadores de alta taxa, filtros rápidos e tanque de contato para a desinfecção. O complexo beneficia mais de 800 mil pessoas da região Sul de Curitiba, São José dos Pinhais, Araucária e Fazenda Rio Grande, com capacidade para tratar até 2000L/s proveniente de 7 reservatórios abastecidos pelo Rio Miringuava.

A visita técnica na ETA ajudará a melhor compreensão dos processos envolvidos nas etapas existentes da UDL, conhecendo na prática o modo operacional do sistema durante as lavagens de filtros e as descargas diárias dos decantadores, avaliando assim as vantagens e dificuldades encontradas.

A estação está localizada nas coordenadas 25°35'10"S e 49°10'2"W.

5. RESULTADOS

5.1. QUANTIFICAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP

Para o levantamento da quantidade de sólidos suspensos totais no Rio Cachoeirinha (água bruta) na situação crítica de operação da UDL foi disponibilizada uma análise da água no período mais chuvoso da região, o mês de janeiro.

A ETA de Olímpia apresenta uma condição operacional favorável à remoção diária de lodo sedimentado (Decantadores de Alta Taxa), como medida adequada para esta condição operacional caracterizada por um maior volume de sólidos a ser removido pela estação nos períodos de chuva. É esperado que devido às condições da bacia hidrográfica do rio Cachoeirinha, logo após as chuvas, a água bruta retorne aquelas condições de cor aparente e turbidez normais dos períodos sem precipitação.

Conforme resultados de amostra realizada em 21 de janeiro de 2010, apresentados no ANEXO 1, os níveis de turbidez estão na ordem de 16 uT e cor aparente na ordem de 55 uH. Apesar de não ser apresentada a amostra de água em dias que comprovem chuvas intensas, estima-se que estes valores venham a triplicar-se. Sendo assim, os valores adotados de turbidez e cor aparente são 50 uT e 200 uH, respectivamente. Os sólidos suspensos totais equivalem a 1,2 vezes o valor de turbidez, ou seja, 60 mg/L.

Foram feitos ensaios laboratoriais de coagulação-floculação-decantação para obtenção da dosagem ótima de coagulante para condições normais da água bruta. O resultado final dos ensaios é demonstrado no ANEXO 2, com uma dosagem de 9 mg/L do coagulante. Numa situação crítica de operação da estação estima-se uma dosagem cerca de quatro vezes maior, igual a 40 mg/L. A Tabela 4 apresenta os dados de entrada adotados.

Tabela 4 - Dados de Entrada para a Quantificação do Lodo.

| PARÂMETROS | Valores | Unidade |
|--|---------------|---------------------|
| Q = vazão de água bruta | 138,9 | L/s |
| | 500,0* | m ³ /h |
| | 12001 | m ³ /dia |
| T = Turbidez da Água Bruta | 50* | uT |
| SS = concentração de sólidos suspensos | 60* | mg/L |
| Al = dosagem, expresso como Al | 3,6* | mg/L |
| D = dosagem de sulfato de alumínio | 40* | mg/L |
| A = produtos químicos adicionados | 0* | mg/L |
| C = Cor da água bruta | 200* | uH |

*Variáveis.

A partir dos dados de entrada foram aplicadas as setes equações empíricas para estabelecer produção de sólidos seco por volume tratado e por tempo da ETA de Olímpia-SP. Os resultados e os valores médios adotados são apresentados na Tabela 5, sendo que P_s corresponde a produção de sólidos seco por volume tratado (kg/m³ tratado) e S_s a produção de sólidos seco por tempo (kg/dia).

Tabela 5 - Quantificação da Produção de Lodo por Fórmulas Empíricas.

| Autor da Fórmula Empírica | P_s (kg/m ³) | S_s (kg/dia) |
|---|----------------------------|----------------|
| David A. Cornwell | 0,07760 | 931,3 |
| American Water Work Association | 0,04628 | 555,4 |
| Water Research Center | 0,07400 | 888,1 |
| Association Francaise Pour L'etude Des Eaux | 0,08080 | 969,7 |
| CETESB | 0,07040 | 844,9 |
| Kawamura | 0,07040 | 844,9 |
| Carlos A. Richther | 0,11040 | 1324,9 |
| Valor Adotado | 0,07570 | 908,4 |

5.2. UNIDADE DE DESAGUAMENTO DE LODO PROPOSTA PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP

O lodo gerado no processo de tratamento das águas do rio Cachoeirinha é submetido a um processo de tratamento (desaguamento) para que a sua parte clarificada possa ser recirculada à Estação de Tratamento de Água.

O projeto da Unidade de Desaguamento do Lodo Proposta da ETA previu o retorno da água de lavagem de Filtros e do volume clarificados dos decantadores e o desaguamento final do lodo dos decantadores com o uso de Decanter Centrífugo. Foi considerada a necessidade do uso de polímeros para o desaguamento final do lodo.

Os desenhos técnicos da UDL proposta são apresentados nos Apêndices 1, 2, 3 e 4.

5.2.1. Unidade de Equalização e Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros

Reforçando, a recirculação da água de lavagem dos filtros, além do aproveitamento da água, proporciona melhorias na coagulação e floculação da água bruta aduzida a ETA.

O projeto das unidades de coagulação/floculação e sedimentação objetiva possibilitar a remoção dos sólidos existentes na água bruta em níveis que garantam a qualidade desejada da água afluyente aos filtros, garantindo carreiras de filtração mais longas. O projeto das unidades de filtração objetiva a obtenção da qualidade da água filtrada segundo os padrões de potabilidade exigidos pela legislação. A carreira de filtração dos filtros é considerada de 20 horas.

O volume de água utilizado na lavagem de dois Filtros da ETA Cachoeirinha é de 194m³ (tempo de lavagem médio de 7min; Filtros de dimensões em planta de 4,00x5,00m; taxa de lavagem de 1.000m³/m²d; vazão média de lavagem de 231L/s).

5.2.1.1. Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros

Para o acondicionamento da água de lavagem dos Filtros foi projetado o tanque em concreto armado de volume útil de 200m³ (medidas úteis: largura de 6,60m, comprimento de 9,00m e altura útil de 3,40m). A Tabela 6 e Tabela 7 apresentam as características operacionais dos filtros e o dimensionamento do TEHALF, respectivamente. A Tabela 8 apresenta os cálculos da concentração de sólidos presentes na água de lavagem dos filtros.

Tabela 6 - Características Operacionais dos Filtros

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-------|----------------------------------|
| | Abrev. | Valor | Unidade |
| Tempo de lavagem médio dos filtros | tL | 7* | m |
| Taxa de Lavagem | TL | 1000* | m ³ /m ² d |
| Dimensões dos filtros | b | 4* | m |
| | l | 5* | m |
| Área do filtro | A | 20 | m ² |

Tabela 7 - Dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros (TEHALF).

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------|----------------|
| | Abrev. | Valor | Unidade |
| Vazão de Lavagem | QL | 231,5 | L/s |
| Volume utilizado para lavagem de 2 filtros | V _{2F} | 194,4 | m ³ |
| Volume útil do tanque de concreto armado | V _{TLF} | 200 | m ³ |
| Dimensões do Tanque de equalização e homogeneização da água de lavagem dos Filtros | h | 3,4 | m |
| | b | 6,6 | m |
| | l | 9,0 | m |

A homogeneização da água de lavagem dos filtros é garantida pela propulsão de dois misturadores submersíveis projetados para uma operação em distintos níveis (instalação em braço suporte) de forma a garantir bons resultados para diferentes volumes de água de lavagem no tanque de 200m³. São previstos equipamentos de potência no eixo de 2,5HP, 60Hz e empuxo nominal máximo de 390N.

Tabela 8 - Características da Água de Lavagem dos Filtros.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unidade |
| Rendimento da Unidade de Filtração | η_F | 99 | % |
| Produção de sólidos secos por volume tratado na filtração | Ps | 0,00749 | kg/m ³ |
| Produção de sólidos secos por tempo na filtração | SSF | 89,94 | kg/d |
| Número de filtros na ETA | NF | 3* | - |
| Carreira de filtração | | 20* | h |
| Volume de água filtrada durante a carreira de filtração de um filtro | | 3334 | m ³ |
| Massa de sólidos secos filtrados em cada filtro | mSS | 25,0 | kgSS |
| Volume utilizado para lavagem de 1 filtro | V _{IF} | 97,2 | m ³ |
| Concentração de sólidos no TEHALF | C _{TEHALF} | 0,257 | kg/m ³ |
| | | 0,0257 | % |

A água de lavagem de um filtro representa um volume de 97,2 m³ com concentração de sólidos de 0,026%.

5.2.1.2. Recalque Água de Lavagem dos Filtros à ETA

O recalque da água de lavagem (recirculação para a ETA) foi projetado através de bombas helicoidais (bombas de deslocamento positivo tipo Nemo ou similar) adequadas ao escoamento de água com concentrações médias de 0,1% de sólidos. As vazões de adução estão entre 13L/s a 23 m³/h e uma altura manométrica total de 15 m. A tubulação de recalque e sucção tem o diâmetro interno projetado de 100 mm, sendo que a tubulação de recalque interligará na linha adutora de diâmetro nominal de 250 mm. Os resultados estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Dimensionamento do Recalque da Água do TEHALF à ETA.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Carreira de filtração | CF | 20* | h |
| Volume de Água da lavagem do n. de Filtros | VF | 233,3 | m ³ |
| Volume utilizado para lavagem de 1 filtro | V1F | 97,2 | m ³ |
| Número de filtros na ETA | NF | 3* | - |
| Volume diário de água da lavagem dos filtros | VLF | 350 | m ³ |
| Tempo diário disponível para a Lavagem de 1 Filtro | tLF | 6,7 | h |
| Tempo adotado para adução do volume de lavagem à ETA | taf | 10 | h |
| Vazão de adução à ETA | Qaf | 23,3 | m ³ /h |
| | | 6,5 | L/s |
| Porcentagem da vazão de recirculação em relação à vazão da ETA | | 4,7 | % |
| | | Menor que 10%: OK | |
| Tubulações de sucção e recalque | Ø | 100* | mm |
| | v | 2,6 | m/s |
| Economia de água em relação ao volume de água tratada | | 2,92 | % |

A partir da vazão de 23,3 m³/h foi feita uma simulação das primeiras 48 horas de operação do tanque, em que recebe a primeira parcela da água de lavagem dos filtros, posteriormente entrando num ciclo de enchimento e esvaziamento de acordo com tempo que a bomba de recirculação fica ligada e a vazão de recirculação proveniente dos adensadores e/ou decanters centrífugos (vazão que totaliza 78,5m³/dia de acordo com os resultados a serem apresentados a seguir). A altura mínima de água adotada para funcionamento dos misturadores foi de 1,0 metros e altura de lâmina de água para acionamento da bomba foi de 1,8 metros (atingidos sempre após a entrada da água de lavagem dos filtros), conforme demonstrado na Figura 6 e Figura 7.

Figura 6 - Operação do TEHALF nas Primeiras 48 horas.

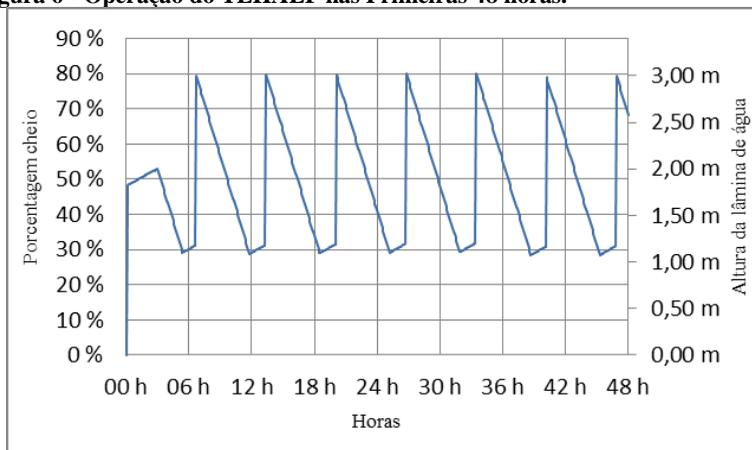
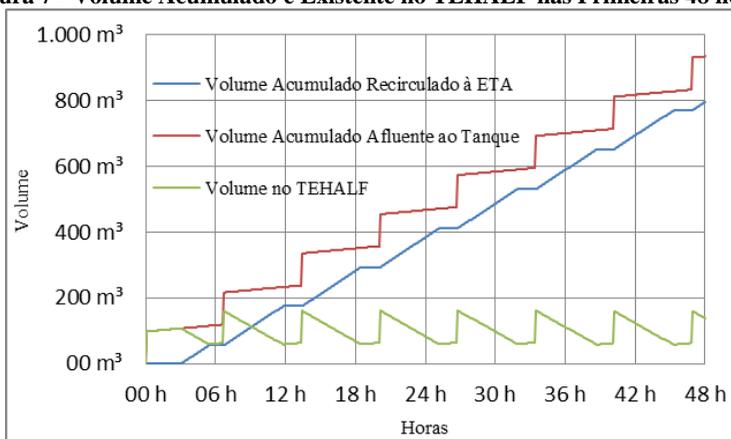


Figura 7 - Volume Acumulado e Existente no TEHALF nas Primeiras 48 horas.



5.2.2. Unidade de Equalização e Recirculação da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores

Os Decantadores da ETA do Rio Cachoeirinha são de alta taxa. São previstas descargas de lodo diárias com a equalização e homogeneização em novo tanque com instalações que proporcionam o recalque ao Decanter para o desaguamento final. O volume sobrenadante dos decantadores durante sua limpeza geral (prevista de dois em dois meses) é aproveitado, sem o desperdício dessa grande

quantidade de água como já citado anteriormente, com as instalações que possibilitam o seu retorno à ETA.

5.2.2.1. Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores

Para o acondicionamento da água sobrenadante dos Decantadores foi projetado o tanque em concreto armado de volume útil de 600 m³ (medidas úteis: largura de 12,60 m, comprimento de 14,00 m e altura útil de 3,40 m), sendo utilizado também para a equalização e homogeneização das descargas de lodo.

Em condições críticas são previstas formações diárias de 81,4 m³ de lodo na concentração de sólidos de 1,0%, o que estima 818 kg/dia de lodo numa taxa de produção de sólidos de 6,8 mL/L, considerada a operação da ETA com a vazão de 500 m³/h.

A homogeneização do lodo a ser recalcado para a o “Decanter” é garantida pela propulsão de dois misturadores submersíveis projetados para uma operação em distintos níveis (instalação em braço suporte) de forma a garantir bons resultados para diferentes volumes de lodo no tanque de 600 m³. São previstos equipamentos de potência no eixo de 4 HP, 60 Hz e empuxo nominal máximo de 820 N.

A Tabela 10 apresenta o dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores.

Tabela 10 - Dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores (TEHASLD).

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|---|--------------------------------|--------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| 1.1. Em função do lodo acumulado no decantador | | | |
| Concentração do lodo do decantador | CD | 1 | % |
| Rendimento da Unidade de Decantação | η_d | 90* | % |
| Massa específica dos sólidos secos | ρ_s | 1800* | kg/m ³ |
| Produção de sólidos secos por volume tratado | PSD | 0,0681 | kg/m ³ |
| Produção de massa de sólidos secos por tempo | SSD | 817,6 | kg/d |
| Produção de massa de lodo por tempo | SLD | 81759,4 | kg/d |
| massa específica do lodo | ρ_L | 1004,46 | kg/m ³ |
| Taxa de Sólidos Totais | TSTa | 6,8 | mL/L |
| V _{LD} = Volume de lodo gerado (vazão) | V _{LD} | 81,4 | m ³ /d |
| 1.2. Em função do esvaziamento do um decantador | | | |
| Dimensões do Decantador | h | 4,17* | m |
| | b | 4,85* | m |
| | l | 26,0* | m |
| Volume para esvaziamento de 1 decantador | V _E | 525,8 | m ³ |
| 2. Determinação do Volume do TEHASLD | | | |
| Volume útil do tanque de concreto armado | V _{TLF} | 600 | m ³ |
| Dimensões dos Tanque de equalização e homogeneização da água de lavagem dos Filtros | h | 3,4 | m |
| | b | 12,6 | m |
| | l | 14,0 | m |
| Número de dias que o TEHASLD suporta a operação dos decantadores | | 7,4 | d |

5.2.2.2. Descargas de Lodo do Decantador

São previstas 5 descargas diárias de lodo com duração de 1 minuto e 14 segundos cada, rebaixando o nível do decantador 4,6 cm em cada extração de lodo (desconsiderando a água afluyente no decantador). A tubulação para direcionar o lodo ao TEHASLD terá um diâmetro de 450 mm. É reforçada a importância de descargas adequadas de acordo com o lodo acumulado no decantador para garantir uma concentração de

sólidos sempre elevada, sem misturar excessivamente a parte clarificada da água. A extração necessária de lodo é estimada na Tabela 11.

Tabela 11 - Dimensionamento das Extrações de Lodo no Decantador.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Carga hidráulica disponível (m) | h _d | 4,17 | m |
| Diâmetro do tubo extrator | D _{te} | 30* | mm |
| Coefficiente de Descarga | C _d | 0,62 | |
| Vazão de descarga de um tubo extrator | q _{te} | 4,0 | L/s |
| Número de decantadores | N _{dec} | 2* | unid. |
| N _{te} = número de tubos extractores por decantador | N _{te} | 28* | unid. |
| Vazão total de descarga do lodo por decantador | Q _d | 111,0 | L/s |
| Velocidade no tubo extrator | V _{te} | 17,6 | m/s |
| Diâmetro da tubulação de lodo | D _{tl} | 450 | mm |
| Velocidade no tubo extrator | V _{tl} | 2,2 | m/s |
| Número de extrações de lodo por dia | N _e | 5* | - |
| Tempo de extração de lodo | t _e | 1,22 | min |
| Volume de lodo gerado por decantador | V _{LID} | 40,7 | m ³ /d |
| Altura de água correspondente a cada descarga do decantador | h _{desg} | 4,6 | cm |

5.2.2.3. Recalque (Recirculação) do Sobrenadante do Decantador para a ETA

O volume de água sobrenadante de 485 m³ é recirculado à ETA através de bombas centrífugas instaladas sobre o TEHALF, com tubulações de sucção de 300 mm e recalque de 250 mm.

O recalque da água do sobrenadante do decantador (recirculação para a ETA) foi projetado através de bombas centrífugas de eixo horizontal. A vazão de adução é de 100 m³/h com uma altura manométrica total de 15 metros, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Dimensionamento do Recalque da Água Sobrenadante do Decantador à ETA.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|---|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume extraído de lodo de 1 decantador | VLID | 40,7 | m ³ |
| Volume estimado do sobrenadante do decantador | VAC | 485 | m ³ |
| Tempo para recirculação do sobrenadante à ETA | tad | 5,0* | h |
| Vazão de adução da bomba | Qaf | 97,0 | m ³ /h |
| | | 27,0 | L/s |
| Tubulação de recalque | Ø | 250* | mm |
| | v | 1,7 | m/s |
| Tubulação de sucção | Ø | 300* | mm |
| | v | 1,2 | m/s |

5.2.2.4. Recalque do lodo do TEHASLD para a Unidade de Desaguamento Final

O recalque do lodo do Decantador (volume homogeneizado para recalque ao “Decanter”) foi projetado através de bombas helicoidais (bombas de deslocamento positivo tipo Nemo ou similar) adequadas ao escoamento de lodo com concentrações que podem variar de 0,1% a 5% de sólidos. As vazões de adução estão entre 0,5 L/s a 5,0 m³/h, contra uma altura manométrica total de 15m, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Dimensionamento do Recalque do Lodo do TEHASLD para a Unidade de Desaguamento Final.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|--------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume Diário de Descarga de Lodo | VLD | 81,4 | m ³ /d |
| Tempo adotado para a adução do volume de lodo ao Decanter Centrífugo | t | 18,0* | h |
| Vazão de adução ao Decanter Centrífugo | qte | 4,5 | m ³ /h |
| | | 1,3 | L/s |
| Tubulações de sucção e recalque | Ø | 50* | mm |
| | v | 2,0 | m/s |

5.2.3. Unidade de Desaguamento Final

5.2.3.1. Decanter Centrífugo

A Unidade de Desaguamento Final de Lodo foi projetada para a capacidade média de 4,5 m³/h com uma concentração de sólidos em suspensão de 1%, (efluente do TEHASLD). O Decanter Centrífugo foi especificado pelo grupo Pieralisi do Brasil Ltda., admitindo o Decanter Centrífugo Maior 1 HS para 5,5 m³/h e 1% de SST como melhor opção.

O volume previsto de lodo produzido nos decantadores para as condições críticas é de 81,7 m³/d. O Decanter Centrífugo produz diariamente 2,9 m³ de lodo com concentração média de sólidos de 24%, sendo previstos 3243 quilos de torta de lodo por dia. O volume clarificado efluente é de 78,5 m³/dia com concentração média de sólidos de 0,05%, de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 - Dimensionamento do Decanter Centrífugo e sua Geração de Torta e Efluente Clarificado.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|---------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| 1. Dimensionamento do Decanter Centrífugo | | | |
| Volume Diário de Descarga de Lodo | VLD | 81,4 | m ³ /d |
| Tempo adotado para a adução do volume de lodo ao Decanter Centrífugo | t | 18* | horas |
| Vazão de lodo decantado ao Decanter Centrífugo | q _{dc} | 4,5 | m ³ /h |
| 2. Características da Água e da Torta do Decanter | | | |
| Concentração na saída do Decanter Centrífugo | C _T | 24,0 | % |
| Produção da massa de torta por tempo | T | 3243,1 | kg/d |
| Massa específica da torta | ρ _T | 1119,4 | kg/m ³ |
| Volume de torta gerado | V _T | 2,9 | m ³ /d |
| 3. Recalque do Efluente Clarificado | | | |
| Concentração do efluente clarificado do Decanter Centrífugo | C _A | 0,05 | % |
| Produção de água recirculada por tempo | A | 78516,3 | kg/d |
| Volume de água recirculada gerado (vazão) | Q _A | 78,5 | m ³ /d |
| | | 0,9 | L/s |

5.2.3.2. Dosagem de Polímero para Desaguamento Final no Decanter Centrífugo

É prevista uma dosagem de 227 g/h de polímero e 232 L/h de solução. Sendo admitido assim 2 bombas (1 reserva mais outra em operação) dosadoras do tipo deslocamento positivo helicoidal, próprias para solução de polímero, com vazão de 25 a 250 L/h. A estimativa de dosagem média no mês de janeiro está apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Dosagem de Polímero no Decanter Centrífugo.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|---|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Dosagem de polímero adotada | D _p | 5,0* | g/kgSS |
| Pureza do produto comercial | P _p | 98,0 | % |
| Produção diária de sólidos seco no decantador | S _s | 817,59 | kgSS/d |
| Vazão mássica para a centrífuga | Q _M | 45,4 | kgSS/h |
| Vazão mássica de polímero | Q _{Mp} | 227,11 | g/h |
| | | 0,2 | kg/h |
| Concentração da solução para dosagem | C _p | 0,10 | % |
| | | 1,0 | kg/m ³ |
| Vazão da solução | Q _{Sp} | 0,23 | m ³ /h |
| | | 231,7 | L/h |

O fluxograma com os volumes gerados em cada etapa são apresentados no APÊNDICE 6.

5.2.4. Demanda e Consumo de Energia Elétrica

Foi levantado a demanda e o consumo de energia elétrica da UDL para a ETA de Olímpia-SP, representado na Tabela 17.

O tempo médio diário de operação da bomba de recirculação do TEHALF à ETA é de 20,9 horas, conforme cálculos apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Cálculo do tempo de operação da bomba de recirculação

| Itens | Resultados | | |
|---|------------|-------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume diário de água da lavagem dos filtros | V_{LF} | 350 | m ³ /d |
| Altura mínima de operação do TEHALF | h_{min} | 1,0 | m ³ |
| Volume mínimo de operação do TEHALF | V_{min} | 59,4 | m ³ |
| Volume de água recirculada gerado | Q_A | 78,5 | m ³ /d |
| Vazão de adução à Eta | Q_{af} | 23,33 | m ³ /d |
| Tempo médio diário de operação da bomba de recirculação | t_{OB} | 20,9 | h |

A demanda de energia elétrica da UDL Proposta é de 22,2 kW. O consumo de energia elétrica é de 19,3 kWh, correspondente a 462,1 kWh/d, conforme o somatório de cada equipamento da Tabela 17.

Tabela 17 - Consumo e Demanda de Energia Elétrica da UDL Proposta na ETA de Olímpia-SP.

| EQUIPAMENTO | Rend. Vazão | | Hman | | Horas | | Demanda | | Consumo kWh/d |
|---|-------------|------|------|------|---------|------|----------------|--------------------|------------------|
| | % | m³/h | m | m | diárias | CV | kW | | |
| Conjunto Moto-Bomba de eixo horizontal para a recirculação do sobrenadante dos Decantadores | 75 | 100 | 15,0 | 15,0 | 0,08 | 7,4 | 5,5 | 0,46 | |
| Conjunto Moto-Bomba para recirculação da água de lavagem dos Filtrros | 75 | 23 | 15,0 | 15,0 | 20,9 | 1,7 | 1,3 | 26,55 | |
| Conjunto Moto-Bomba para adução do lodo dos decantadores à centrífuga | 75 | 4,5 | 15,0 | 15,0 | 18,0 | 0,33 | 0,25 | 4,47 | |
| Misturador horizontal compacto para o tanque de 200m3 | - | - | - | - | 24,0 | 5,0 | 3,7 | 89,48 | |
| Misturador horizontal compacto para o tanque de 600m3 | - | - | - | - | 24,0 | 8,0 | 6,0 | 143,17 | |
| Decanter Centrífugo Maior 1 HS (5,5 m³/h - 1% S.S.t) | - | - | - | - | 18,0 | 14,8 | 11,0 | 198,00 | |
| TOTAL | | | | | | | 22,2 kW | 462,1 kWh/d | |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.2.5. Custos de Obras Civas, Materiais e Equipamentos

O custo total de obras civis da UDL Proposta é de 977.660,52 reais de acordo com a empresa Hidráulica Engenharia LTDA., apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 - Custos de Obras Civas da UDL Proposta.

| Custos | Valores |
|--|-----------------------|
| Estruturais (Concreto Armado = 172,34 m ³) | R\$ 575.194,53 |
| Serviços técnicos | R\$ 54.086,23 |
| Movimentação de Materiais | R\$ 112.373,41 |
| Instalações Hidráulicas | R\$ 53.254,15 |
| Instalações elétricas e de Automação | R\$ 103.048,53 |
| Outros custos | R\$ 79.703,68 |
| Total de Obras Civas | R\$ 977.660,52 |

O custo total de materiais e equipamentos da UDL Proposta é de 914.391,12 reais, apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Custos de Materiais e Equipamentos da UDL Proposta.

| Custos | Valores |
|---|-----------------------|
| SKID para desidratação de 5,5 m ³ /h | R\$ 475.287,00 |
| Peças | R\$ 9.633,08 |
| Comportas | R\$ 70.151,99 |
| Tubulações | R\$ 18.497,00 |
| Válvulas | R\$ 159.897,05 |
| Bombas | R\$ 125.000,00 |
| Containers | R\$ 8.925,00 |
| Misturadores | R\$ 47.000,00 |
| Total de Materiais e Equipamentos | R\$ 914.391,12 |

O custo total da UDL Proposta é de R\$ 1.892.051,64.

5.3. UNIDADE DE DESAGUAMENTO DE LODO TRADICIONAL PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP

É dimensionada a Unidade de Desaguamento do Lodo Tradicional da Estação de Tratamento de Água de Olímpia-SP para efeito de comparação com a Unidade Proposta. A UDL Tradicional previu, também, o retorno da água de lavagem de Filtros e do volume clarificado dos Decantadores e o desaguamento final do lodo dos decantadores com o uso de Decanter Centrífugo. Foi considerada a necessidade do uso de polímeros para o adensador e para o desaguamento final do lodo. Os desenhos técnicos da UDL tradicional são apresentados nos Apêndices 1, 2, 3 e 5.

5.3.1. Unidade de Equalização e Recirculação da Água de Lavagem dos Filtros

Essa unidade apresenta os mesmos cálculos e critérios da existente na UDL Proposta e já foram demonstrados, apresentando assim somente os resultados resumidos nas Tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20 - Dimensionamento do Tanque de Equalização e Homogeneização da Água de Lavagem dos Filtros (TEHALF).

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------------|-------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume utilizado para lavagem de 2 Filtros | V_{2F} | 194,4 | m^3 |
| Volume útil do tanque de concreto armado | V_{TLF} | 200 | m^3 |
| Dimensões dos Tanques de equalização e homogeneização da água de lavagem dos Filtros | h | 3,4 | m |
| | b | 6,5 | m |
| | l | 9,0 | m |
| Diâmetro da tubulação da água de lavagem | D_{LF} | 600* | mm |
| | v_{LF} | 2,57 | m/s |

Tabela 21 - Características da água de lavagem dos filtros.

| Itens e Parâmetros | Resultados | | |
|---|--------------|--------|----------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Massa de sólidos secos filtrados em cada filtro | m_{SS} | 25,0 | kgSS |
| Volume utilizado para lavagem de 1 filtro | V_{IF} | 97,2 | m^3 |
| Concentração de sólidos no TEHALF | C_{TEHALF} | 0,257 | kg/m^3 |
| | | 0,0257 | % |

Tabela 22 - Recalque da Água do TEHALF à ETA.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Vazão de adução à ETA | Q _{af} | 23,3 | m ³ /h |
| | | 6,5 | L/s |
| Porcentagem da vazão de recirculação em relação à vazão da ETA | | 4,7 | % |
| | | Menor que 10%: OK | |
| Tubulações de sucção e recalque | Ø | 100* | mm |
| | v | 2,6 | m/s |
| Economia de água em relação ao volume de água tratada | | 2,92 | % |

5.3.2. Unidade de Equalização e Recirculação da Água Sobrenadante e do Lodo dos Decantadores

Essa unidade apresenta os mesmos cálculos e critérios da existente na UDL Proposta e já foram apresentados. Sendo assim, os tópicos abaixo apresentam somente o dimensionamento resumido nas Tabelas 23, 24 e 25.

Tabela 23 - Dimensionamento do TEHASLD.

| Itens e Parâmetros | Resultados | | |
|--|------------------|-------|----------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume útil do tanque de concreto armado | V _{TAD} | 600 | m ³ |
| Dimensões do TEHASLD | h | 3,4 | m |
| | b | 11,2 | m |
| h = 3,4 m | l = 1,4b | l | 15,8 m |

Tabela 24 - Características do lodo gerado no decantador.

| Itens e Parâmetros | Resultados | | |
|--|-----------------|-------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Concentração na saída do processo de Decantação Estática | C _D | 1,0 | % |
| Produção massa de sólidos secos por tempo | S _{SD} | 817,6 | kg/ |
| Produção massa de lodo por tempo | S _{LD} | 81759,4 | kg/ |
| Volume de lodo gerado (vazão) | V _{LD} | 81,4 | m ³ /d |

Tabela 25 - Dimensionamento do Recalque da Água Sobrenadante do Decantador à ETA.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Tempo adotado para a adução do volume sobrenadante à ETA | t_{ad} | 5,0* | h |
| Vazão de adução da bomba | Q_{af} | 97,03 | m ³ /h |
| | | 27,0 | L/s |
| Tubulação de recalque | \emptyset | 250* | mm |
| | v | 1,7 | m/s |
| Tubulação de sucção | \emptyset | 300* | mm |
| | v | 1,2 | m/s |

5.3.2.1. Recalque do Lodo do TEHASLD para o Tanque de Adensamento por Gravidade

O recalque do lodo do TEHASLD foi projetado através de bombas helicoidais (bombas de deslocamento positivo tipo Nemo ou similar) adequadas ao escoamento de lodo com concentrações que podem variar de 0,1% a 5% de sólidos. As vazões de adução estão entre 0,5 L/s a 3,5 m³/h, contra uma altura manométrica total de 15m, conforme Tabela 26.

Tabela 26 - Dimensionamento do Recalque do Lodo do TEHASLD para o Tanque de Adensamento por Gravidade.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------------|---------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume Diário de Descarga de Lodo | V_{LD} | 81,4 | m ³ /dia |
| Vazão de adução ao Decanter Centrífugo | q_{te} | 3,4 | m ³ /h |
| | | 0,9 | L/s |
| Tubulações de sucção e recalque | \emptyset | 50* | mm |
| | v | 1,5 | m/s |

5.3.3. Unidade de Adensamento do Lodo

A Unidade de Desaguamento consiste no Tanque de Adensamento por Gravidade (TAG) com dosagem de polímero, que terá

seu lodo removido hidraulicamente por uma tubulação no poço do lodo do tanque e sua água sobrenadante clarificado recirculada.

5.3.3.1. Tanque de Adensamento por Gravidade

O TAG tem um diâmetro útil de 43,6 metros responsáveis por uma área de decantação de 16,6 metros quadrados. Essa área é responsável para tratar uma vazão de 81,4 m³/dia do efluente com quantidade de sólidos secos equivalente a 818 kg/dia. A taxa hidráulica de aplicação superficial adotada é de 5,0 m³lodo/m²dia para resultar numa taxa de aplicação (ou de carga) de sólidos de 50 kgSS/m²dia, conforme Tabela 27.

Tabela 27 - Dimensionamento do Tanque de Adensamento por Gravidade.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| TAS = Taxa hidráulica de aplicação superficial | TAS | 5* | m ³ /m ² d |
| TCS = Taxa de aplicação (ou de carga) de sólidos | TCS | 50* | kgSS/m ² d |
| Vazão de regularização dos efluentes | Q _r | 81,4 | m ³ /d |
| | | 0,9 | L/s |
| Área de adensamento necessária | A _{ad} | 16,3 | m ² |
| Número Adensadores | N _{ad} | 1* | - |
| Diâmetro do Adensador | D _d | 4,6 | m |
| Área de cada adensador | A _{ad} | 16,6 | m ² |
| Altura útil do Adensador | h _{ad} | 4,0 | m |
| Volume útil do Adensador | V _{ad} | 66,5 | m ³ |
| Afluente diário de sólidos seco no TAG | S _{SD} | 817,6 | kgSS/d |
| TCS = Taxa de aplicação (ou de carga) de sólidos | TCS | 49,2 | kgSS/m ² d |
| | | Menor que 50: OK | |

É adotada uma concentração do lodo adensado de 3,5 % de sólidos, resultado numa volume de 21,8 m³/dia, de acordo com os resultados dos cálculos da Tabela 28.

Tabela 28 - Características do Lodo Adensado.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------------|---------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Concentração de Sólidos no Lodo Adensado | C _{LA} | 35* | kgSS/m ³ |
| | | 3,5* | % |
| Rendimento da Unidade de Adensamento | η _{ad} | 95,0 | % |
| Produção diária de sólidos seco | S _{SA} | 776, 7 | kgSS/d |
| Produção diária de Lodo Adensado | S _{LA} | 22191 ,8 | kg/d |
| Massa específica do lodo adensado | ρ _{LA} | 1015, 8 | kg/m ³ |
| Volume diário de lodo adensado | V _{LA} | 21,8 | m ³ /d |

5.3.3.2. Efluente Clarificado do Tanque de Adensamento por Gravidade

Diminuindo o volume diário das descargas de lodo com o lodo adensado, temos que o volume de água clarificada no adensador é de 59,5 m³/dia, conforme dados da Tabela 29.

Tabela 29 - Efluente Clarificado do Adensador.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume de água clarificada (vazão) | Q _{RA} | 59,5 | m ³ /d |
| | | 2,5 | m ³ /h |
| Quantidade de sólidos secos presente no efluente clarificado | S _{SE} | 40,9 | kgSS/d |
| Concentração do efluente clarificado | C _{ec} | 0,69 | kg/m ³ |
| | | 0,07 | % |
| Tubulações | Ø | 50 | mm |
| | v | 1,1 | m/s |

5.3.3.3. Recalque do Lodo Adensado para a Unidade Desaguamento Final

O recalque do lodo adensado foi projetado através de bombas

helicoidais (bombas de deslocamento positivo tipo Nemo ou similar) adequadas ao escoamento de lodo com concentrações que podem variar de 0,1% a 5% de sólidos. As vazões de adução estão entre 0,1 a 1,5 m³/h, contra uma altura manométrica total de 15m, de acordo com a Tabela 30.

Tabela 30 - Recalque do Lodo do Adensador para a Unidade de Desaguamento Final

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--|--------------------------------|-------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Volume Diário de Descarga de Lodo | V _{LA} | 21,8 | m ³ /d |
| Tempo adotado para a adução do volume de lodo ao Decanter Centrífugo | t _{dc} | 18 | h |
| Vazão de adução ao Decanter Centrífugo | q _{dc} | 1,2 | m ³ /h |
| | | 0,3 | L/s |
| Tubulações de sucção e recalque | Ø | 25 | mm |
| | v | 2,2 | m/s |

5.3.3.4. Dosagem de polímero no Tanque de Adensamento por Gravidade

É prevista uma dosagem de 6,8 g/h de polímero e 7,0 L/h de solução. Sendo admitido assim 2 bombas (1 reserva mais outra em operação) dosadoras do tipo deslocamento positivo helicoidal, próprias para solução de polímero, com vazão de 1 a 7 L/h, de acordo com os resultados da Tabela 31.

Tabela 31 - Dosagem de Polímero no TAG.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Dosagem de polímero adotada | D _p | 2* | mg/L |
| Pureza do produto comercial | P _p | 98* | % |
| Vazão de regularização dos efluentes | Q _r | 3,4 | m ³ /h |
| Dosagem do polímero para adensamento | D _{PA} | 6,8 | g/h |
| Concentração da solução para dosagem | C _p | 0,1 | % |
| | | 1 | kg/m ³ |
| Vazão da solução | Q _{Sp} | 0,00692 | m ³ /h |
| | | 6,92143 | L/h |

5.3.4. Unidade de Desaguamento Final

5.3.4.1. Decanter Centrífugo

A Unidade de Desaguamento Final de Lodo foi projetada para a capacidade média de 1,2 m³/h com uma concentração de sólidos em suspensão de 3,5%. O Decanter Centrífugo foi especificado pelo grupo Peralisi do Brasil Ltda., admitindo o Decanter Centrífugo FP500/1 para 1,5 m³/h e 3,5% de SST como melhor opção.

O volume previsto de lodo proveniente dos adensadores para as condições críticas é de 21,8 m³/dia. O Decanter Centrífugo produz diariamente 2,9 m³ de lodo com concentração média de sólidos de 24%, sendo previstos 3198 quilos de torta de lodo por dia. O volume clarificado efluente é de 19,0 m³/dia com concentração média de sólidos de 0,05%, conforme resultados da Tabela 32.

Tabela 32 - Dimensionamento do Decanter Centrífugo e sua Geração de Torta e Efluente Clarificado.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|---|--------------------------------|---------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| 1. Dimensionamento do Decanter Centrífugo | | | |
| Volume Diário de Lodo Adensado | V _{LA} | 21,8 | m ³ /d |
| Tempo de funcionamento do Decanter Centrífugo | t _{DC} | 18* | h |
| Vazão de lodo adensado ao Decanter Centrífugo | q _{DC} | 1,2 | m ³ /h |
| 2. Características da Água e da Torta do Decanter | | | |
| Concentração na saída do Decanter Centrífugo | C _T | 24 | % |
| Produção da massa de torta por tempo | T | 3196,7 | kg/d |
| Massa específica dos sólidos secos | ρ _S | 1800* | kg/m ³ |
| Massa específica da torta | ρ _T | 1119,4 | kg/m ³ |
| VT = Volume de torta gerado (vazão) | V _T | 2,9 | m ³ /d |
| 3. Recalque do Efluente Clarificado | | | |
| Concentração do efluente clarificado do Decanter Centrífugo | CA | 0,05 | % |
| Produção de água recirculada por tempo | A | 18995,1 | kg/d |
| Volume de água recirculada gerado (vazão) | Q _A | 19,0 | m ³ /d |
| | | 0,2 | L/s |

5.3.4.2. Dosagem de Polímero para Desaguamento Final no Decanter Centrífugo

É prevista uma dosagem de 216 g/h de polímero e 220 L/h de solução. Sendo admitido assim 2 bombas (1 reserva mais outra em operação) dosadoras do tipo deslocamento positivo helicoidal, próprias para solução de polímero, com vazão de 20 a 220L/h, estimadas pela Tabela 33.

Tabela 33 - Dosagem de Polímero no Decanter Centrífugo.

| Itens e Parâmetros | Valores Adotados* e Resultados | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------|-------------------|
| | Abrev. | Valor | Unid. |
| Dosagem de polímero adotada | D _p | 5 | g/kgSS |
| Pureza do produto comercial | P _p | 98 | % |
| Produção diária de sólidos seco | S _s | 776,7 | kgSS/d |
| Vazão mássica para a centrífuga | Q _M | 43,2 | kgSS/h |
| Vazão mássica de polímero | Q _{Mp} | 215,8 | g/h |
| | | 0,22 | kg/h |
| Concentração da solução para dosagem | C _p | 0,1 | % |
| | | 1 | kg/m ³ |
| Vazão da solução | Q _{Sp} | 0,22016 | m ³ /h |
| | | 220,2 | L/h |

O fluxograma com os volumes gerados em cada etapa são apresentados no APÊNDICE 7.

5.3.5. Demanda e Consumo de Energia Elétrica

Foi levantado a demanda e o consumo de energia elétrica da UDL para a ETA de Olímpia-SP, representado na Tabela 34.

A demanda de energia elétrica da UDL Proposta é de 17,3 kW. O consumo de energia elétrica é de 15,7 kWh, correspondente a 377,8 kWh/d, de acordo com o somatório de todos os equipamentos da unidade, demonstrados na Tabela 34.

Tabela 34 - Consumo e Demanda de Energia Elétrica da UDL Tradicional na ETA de Olímpia-SP.

| EQUIPAMENTO | Rend. Vazão | | Hman m | Horas diárias | Demanda | | Consumo kWh |
|---|-------------|------|-----------|------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | % | m³/h | | | CV | kW | |
| Conjunto Moto-Bomba de eixo horizontal para a recirculação do sobrenadante dos Decantadores | 75 | 100 | 15,0 | 0,08 | 7,4 | 5,5 | 0,46 |
| Conjunto Moto-Bomba para recirculação da água de lavagem dos Filtros | 75 | 23 | 15,0 | 20,9 | 1,7 | 1,3 | 26,55 |
| Conjunto Moto-Bomba para adução do lodo dos decantadores ao adensador | 75 | 3,4 | 15,0 | 24,0 | 0,3 | 0,19 | 4,51 |
| Conjunto Moto-Bomba para adução do lodo adensado à centrífuga | 75 | 1,2 | 15,0 | 18,0 | 0,1 | 0,07 | 1,19 |
| Misturador horizontal compacto para o tanque de 200m3 | - | - | - | 24,0 | 5,0 | 3,7 | 89,48 |
| Misturador horizontal compacto para o tanque de 600m3 | - | - | - | 24,0 | 8,0 | 6,0 | 143,17 |
| Decanter Centrífugo FP500/1 (1,5 m³/h - 3,5% S.S.t) | - | - | - | 18,0 | 7,4 | 5,5 | 99,00 |
| Raspador de Lodo | - | - | - | 24,0 | 0,8 | 0,6 | 13,42 |
| TOTAL | | | | | 17,3 kW | 377,8 kWh/d | |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.3.6. Custos de Obras Civas, Materiais e Equipamentos

Os custos estimados de obras civis, materiais e equipamentos da UDL Tradicional são determinados em cima do orçamento feito para a UDL Proposta pela Empresa Hidráulica Engenharia LTDA.

Os Custos Estruturais têm uma relação direta com o volume de concreto armado de cada unidade, apresentados nas Tabelas 35 e 36.

Tabela 35 - Volume de Concreto Armado do TEHALF e do TEHASLD

| Parte do Tanque | | Volume |
|--|---------------------|-----------------------------|
| V_{TEHALF} | V_{parede} | 35,02 m ³ |
| | V_{base} | 17,82 m ³ |
| V_{TEHASLD} | V_{parede} | 58,94 m ³ |
| | V_{base} | 52,92 m ³ |
| $V_{\text{TEHALF}} = V_{\text{TEHASLD}}$ | | -9,62 m ³ |
| $V_{\text{VERTEDOIRO}}$ | V_{parede} | 6,61 m ³ |
| | V_{base} | 0,15 m ³ |
| V_{CANAL} | V_{parede} | 10,70 m ³ |
| | V_{base} | 0,34 m ³ |
| $V_{\text{COMPORTAS}}$ | | -0,54 m ³ |
| VOLUME TOTAL | | 172,34 m³ |

Tabela 36 - Volume de Concreto Armado do TAG

| Parte do TAG | Volume |
|---------------------|----------------------------|
| V_{PAREDE} | 20,32 m ³ |
| V_{BASE} | 4,99 m ³ |
| V_{CALHA} | 0,34 m ³ |
| V_{LODO} | 0,19 m ³ |
| VOLUME TOTAL | 25,84 m³ |

Sendo assim, o volume de concreto armado da UDL Tradicional de 198,18 m³ e da UDL Proposta é de 172,34 m³, estabelecendo uma relação de 1,15 vezes maior. Sendo assim, o Custo Estrutural subiu de R\$ 575.194,53 para R\$ 661.406,12 mantendo a mesma relação. Em cima desse valor são aplicados os percentuais relativos aos demais custos. O custo total de obras civis da UDL Tradicional é de 1.124.194,72 reais. Os valores com asterisco na Tabela 37 representam os percentuais em relação aos Custos Estruturais.

Tabela 37 - Custos de Obras Civas da UDL Tradicional.

| Custos | Valores | |
|--|-------------------------|---------|
| Estruturais (Concreto Armado = 198,18m³) | R\$ 661.406,12 | |
| Serviços técnicos | R\$ 62.192,81 | 9,4* % |
| Movimentação de Materiais | R\$ 129.216,22 | 19,5* % |
| Instalações Hidráulicas | R\$ 61.236,01 | 9,3* % |
| Instalações elétricas e de Automação | R\$ 118.493,70 | 17,9* % |
| Outros custos | R\$ 91.649,86 | 13,9* % |
| Total de Obras Civas | R\$ 1.124.194,72 | |

Os custos de materiais e equipamentos alterados são o SKID de desidratação de lodo e as bombas. Foram levantados pela Perialisi do Brasil Ltda. o custos do Decanter Centrífugo Maior 1 HS (para 5,5 m³/h e 1% de sólidos), da UDL Proposta, e do Custo do Decanter Centrífugo FP500/1 (para 1,5 m³/h e 3,5% sólidos). O custo do FP500/1 é de R\$ 122.237,00 e do Maior 1 HS é de R\$ 192.611,00, estabelecendo uma relação de 0,63 vezes menor. Sendo assim, como o custo do SKID de desidratação de 5,5 m³/h é de R\$ 475.287,00, o valor correspondente para 1,5 m³/h é de R\$ 301.632,08, mantendo a mesma relação. O Raspador de Lodo tipo Ponte foi orçado pela VLC Sistemas de Filtração e Sedimentação em R\$ 135.000,00. O custo total de materiais e equipamentos da UDL Tradicional é de 900.736,20 reais, apresentado na Tabela 38.

Tabela 38 - Custos de Materiais e Equipamentos da UDL Tradicional.

| Custos | Valores |
|--|-----------------------|
| SKID para desidratação de 1,5 m³/h | R\$ 301.632,08 |
| Peças | R\$ 9.633,08 |
| Comportas | R\$ 70.151,99 |
| Tubulações | R\$ 18.497,00 |
| Válvulas | R\$ 159.897,05 |
| Bombas | R\$ 150.000,00 |
| Containers | R\$ 8.925,00 |
| Misturadores | R\$ 47.000,00 |
| Raspador de lodo (TAG) | R\$ 135.000,00 |
| Total de Materiais e Equipamentos | R\$ 900.736,20 |

O custo total da UDL Tradicional é de R\$ R\$ 2.024.930,92.

5.4. COMPARAÇÃO DE CUSTO ENTRE AS DUAS UNIDADES DE DESAGUAMENTO DE LODO APLICADAS PARA A ETA DE OLÍMPIA-SP

A partir do consumo e da demanda de energia elétrica e do custo total de cada UDL são aplicadas as tarifas de energia de Olímpia-SP e a simulação de um financiamento pelo método do Valor Anual Equivalente, respectivamente. Os resultados são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 - Dispêndio anual de energia elétrica e Financiamento das UDLs.

| Item | UDL Proposta | UDL Tradicional |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Potência consumida | 22,2 kW | 17,3 kW |
| Energia consumida | 462,1 kWh/d | 377,8 kWh/d |
| Tarifa da Demanda de Energia | 19,363 R\$/kWxMês | 19,363 R\$/kWxMês |
| Tarifa do Consumo de Energia | 0,1904085 R\$/kWh | 0,1904085 R\$/kWh |
| Dispêndio anual com energia elétrica | R\$ 37.280,04 | R\$ 33.459,42 |
| Custo das Obras Civas da UDL | R\$ 977.660,52 | R\$ 1.124.194,72 |
| Custo de Materiais/Equipamentos | R\$ 914.391,12 | R\$ 900.736,20 |
| Custo total da UDL | R\$ 1.892.051,64 | R\$ 2.024.930,92 |
| Prazo de amortização | 8,0 anos | 8,0 anos |
| Juros | 6,0 % a.a. | 6,0 % a.a. |
| Valor Anual Equivalente | R\$ 304.688,32 | R\$ 309.403,34 |
| Dispêndio Anual Global | R\$ 341.968,36 | R\$ 342.862,75 |

Percebe-se que o dispêndio anual global da simulação realizada é menor para a UDL Proposta, apesar de ter um maior dispêndio anual com energia elétrica. A UDL Proposta gastará anualmente R\$ 7.009,05

a mais com energia elétrica, porém o valor anual equivalente com juros aplicado apresenta um valor inferior de R\$ 21.398,34, ou seja, durante os oito anos investirá R\$ 171.186,72 a menos. Em relação ao dispêndio anual global das duas unidades, é apresentado um valor superior de R\$ 14.389,29 para a UDL Tradicional.

Supondo que os custos de obras civis, materiais e equipamentos sejam amortizados, sem financiamento, com o capital disponível da companhia, é calculado o tempo necessário para igualar o investimento de acordo com a diferença de custo anual de energia elétrica, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 - Diferença de Custos da UDL Proposta para a Tradicional Sem Financiamento.

| Item | UDL Proposta em relação à Tradicional |
|---|---------------------------------------|
| Diferença Anual do Dispêndio com Energia Elétrica | R\$ 7.009,05 |
| Diferença do Custo Total da UDL | -R\$ 132.879,28 |
| Tempo necessário para igualar os custos | 19,0 anos |

Apesar de um dispêndio anual com energia elétrica superior de R\$ 7.009,05, o custo total da UDL é R\$ R\$ 132.879,28 menor. Assim, o dinheiro investido irá se igualar após dezenove anos.

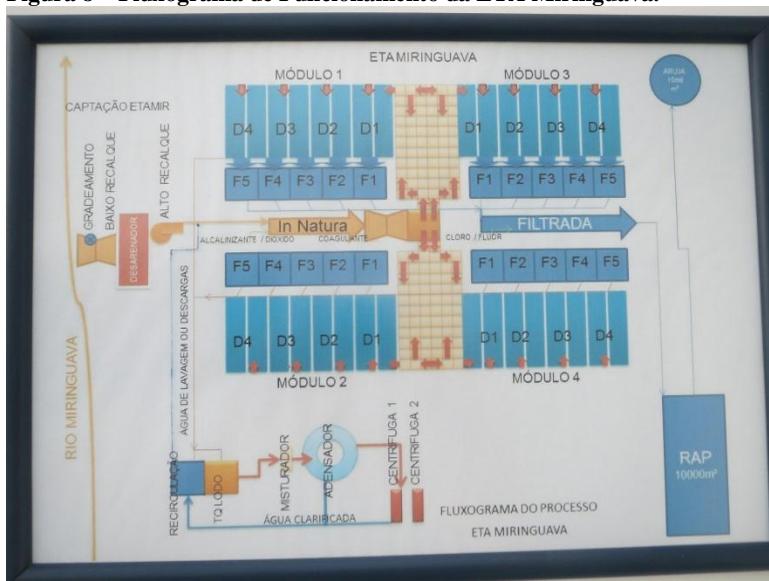
Os custos totais das duas unidades acabam se aproximando, pois apesar da UDL Tradicional ter um custo de materiais e equipamentos menor devido ao tamanho do Decanter Centrífugo, apresenta um custo maior de obras civis em consequência da construção do Tanque de Adensamento por Gravidade.

5.5. VISITA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA MIRINGUAVA

A Estação apresenta uma Unidade de Desaguamento de Lodo Tradicional para ETAs Convencionais, contendo um tanque responsável pelo recebimento e recirculação da água de lavagem dos filtros (TEHALF) e outro tanque destinado a receber as descargas dos decantadores (TEHASLD), além do adensador por gravidade e 2 decaners centrífugos.

Um quadro na recepção da ETA Miringuava (Figura 8) demonstrar funcionamento da UDL, sendo aplicado numa imagem aérea da estação na Figura 9, conforme explicado, também, pelos operadores, indicando o sentido operacional dos resíduos dos decantadores, da água clarificada do adensador e do decanter centrífugo e da recirculação da água à ETA, além das etapas de tratamento de água de ciclo completo.

Figura 8 – Fluxograma de Funcionamento da ETA Miringuava.



Fonte: Foto do Autor.

Durante a visita foi possível acompanhar a lavagem de um dos filtros com ar e água. A lavagem do filtro foi necessária devido a altura de lâmina de água estar elevada, resultante da perda de carga no material filtrante com elevada quantidade de sólidos suspensos nos vazios. A entrada de água decantada foi cessada para diminuir o nível de água até próximo ao filtro. Inicialmente o filtro foi submetido a um fluxo de ar por 4 minutos, para então iniciar a retrolavagem com água de lavagem durante 7 minutos. A primeira parcela da água de lavagem dos filtros, presente na Figura 10, é direcionada para o tanque com lodo para desaguamento devido a maior concentração de sólidos, através de acionamento das comportas nas entradas dos tanques.

A Figura 11 demonstra os dois tanques responsáveis pela separação da água de lavagem dos filtros, para recirculação à câmara de

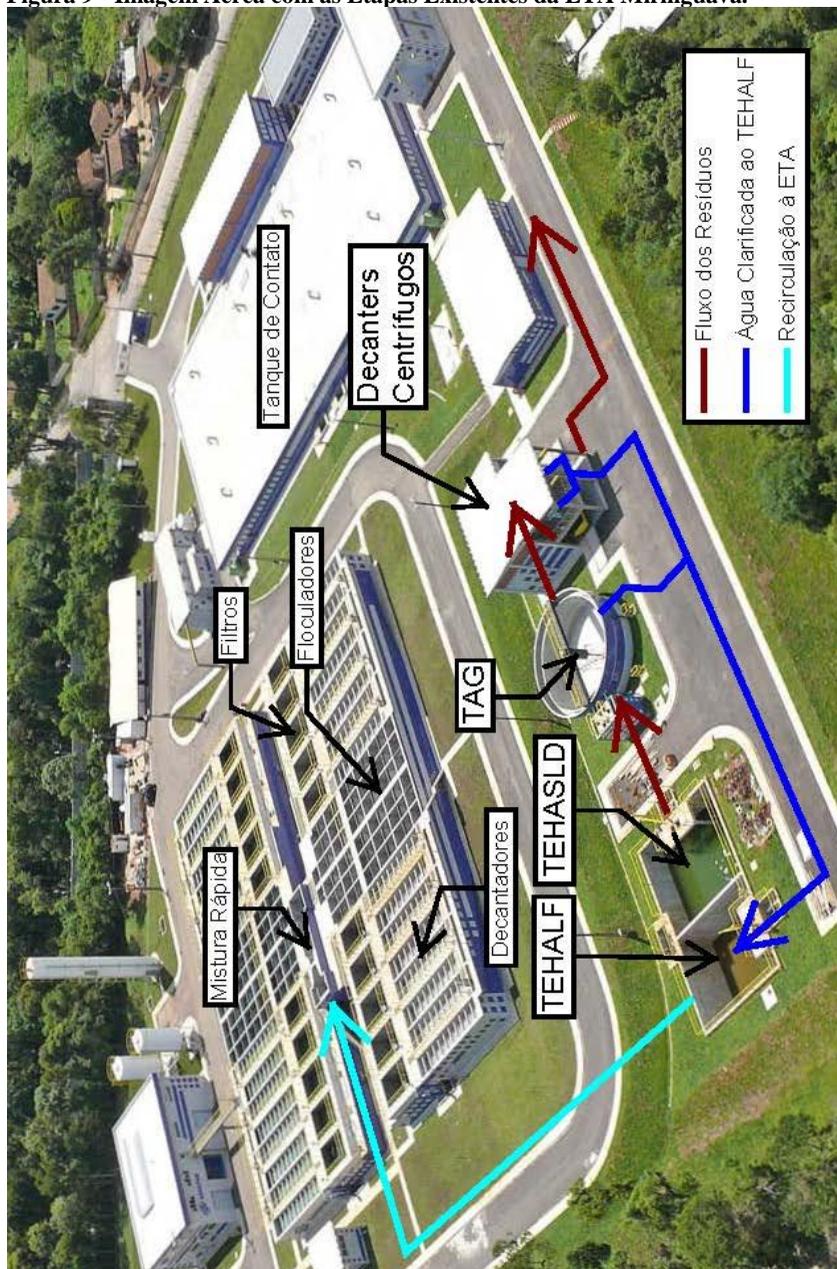
chegada da ETA, e as descargas de lodo dos decantadores, para o devido desaguamento. A Figura 12 apresenta o tanque responsável pela equalização e homogeneização da água de lavagem dos filtros a ser recirculada, sendo possível também verificar as duas comportas que controlam o fluxo aos tanques. Na Figura 13 fica bem clara a diferença de concentração de sólidos suspensos no tanque que recebe as descargas de lodo do decantador. Os misturadores do tanque são submersos e não foi possível registrá-los com foto, mas são notados devido à movimentação da água.

Destaca-se também a unidade não apresenta a facilidade operacional apresentada pelo trabalho para aproveitar a água sobrenadante do decantador quando programada sua limpeza geral, sendo esta água provavelmente descartada e desperdiçada.

Após a equalização e homogeneização o lodo é direcionado ao Tanque de Adensamento por Gravidade, registrado na Figura 14, para posteriormente ser direcionado aos Decanter Centrífguos presentes na Figura 15. A Figura 16 apresenta a torta de lodo acumulada em container que são mantidos embaixo dos decaners. A Figura 17 refere-se à água clarificada efluente das centrífugas que é direcionada ao tanque de equalização e homogeneização da água de lavagem dos filtros para ser, posteriormente, recirculada ao início da ETA.

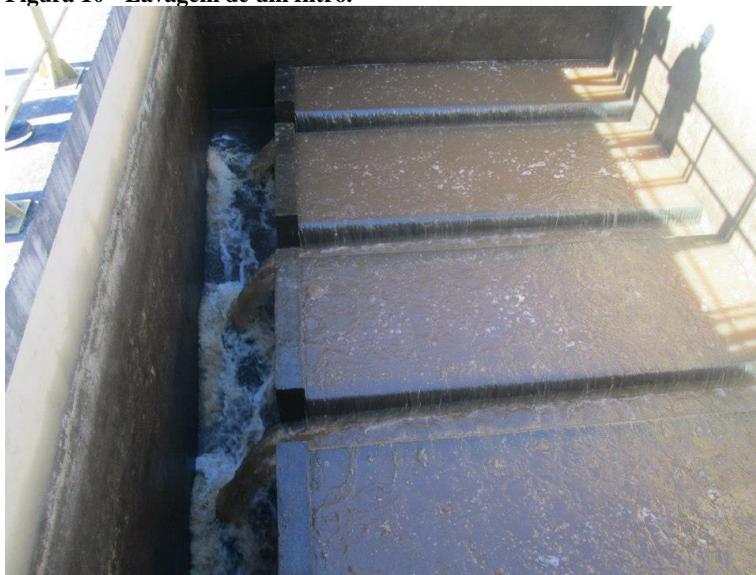
Foi observado um descuido durante a operação da unidade de desaguamento de lodo da estação, pois um efluente com alta concentração de sólidos, característica do lodo descarregado dos decantadores, é direcionado ao tanque reservado para a água que é recirculada ao processo de tratamento, conforme registrado na Figura 18 e na Figura 19. Essa água com alta carga de sólidos suspensos é homogeneizada com a água presente no tanque e recirculada ao início do tratamento de água, podendo causar prejuízos dependendo da quantidade de água erroneamente desviada. Essa situação fortalece a necessidade de uma adequada operação da unidade de desaguamento de lodo, com responsáveis devidamente treinados e preparados.

Figura 9 - Imagem Aérea com as Etapas Existentes da ETA Miringuava.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 10 - Lavagem de um filtro.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 11 – Tanques Separadores da Água de Lavagem dos Filtros e Descargas dos Decantadores.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 12 - Tanque com Água de Lavagem dos Filtros.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 13 - Tanque com as Descargas de Lodo dos Decantadores.



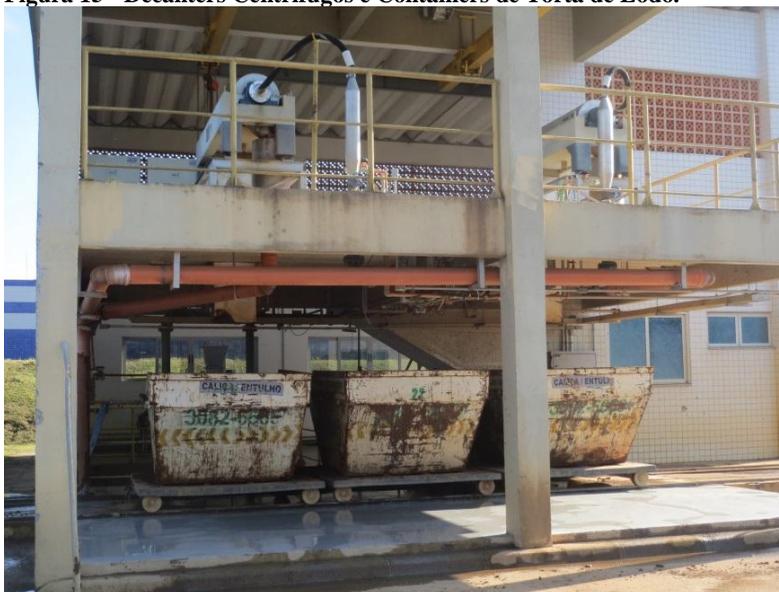
Fonte: Foto do Autor.

Figura 14 - Tanque de Adensamento por Gravidade.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 15 - Decanters Centrífugos e Containers de Torta de Lodo.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 16 – Torta de Lodo acumulada na Caçamba.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 17 – Água recirculada dos Decanters Centrífugos.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 18 - Inadequado direcionamento de efluentes.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 19 - Inadequado direcionamento de efluentes.



Fonte: Foto do Autor.

6. CONCLUSÕES

A Unidade de Desaguamento de Lodo Proposta tem sua implantação viável em Estações de Tratamento de Água Convencionais em frente à melhoria constante de eficiência e tecnologia disponível nas estações, provenientes de novas construções e reformas em licitações espalhadas pelo Brasil, aperfeiçoando, por exemplo, a compactação e as descargas do lodo dos decantadores.

A unidade proposta em Olímpia-SP apresenta um menor custo de obras civis e total, 132.879,28 reais a menos, pois não tem a construção de um Tanque de Adensamento por Gravidade. Valor bem superior frente aos 7.009,05 reais a mais gastos anualmente com energia elétrica, apresentando assim uma vantagem econômica.

Além do lado econômico, a unidade proposta apresenta uma maior facilidade operacional devido aos operadores não precisaram controlar o funcionamento do adensador, principalmente da dosagem de polímero. O lodo proveniente dos adensadores apresenta uma variação de concentração de sólidos maior que o lodo das descargas dos decantadores, podendo afetar a eficiência e manutenção dos Decanters Centrífugos.

A quantificação de resíduos gerados numa ETA por fórmulas empíricas pode ser aprimorada com uma maior disponibilidade de dados dos mananciais, referente, principalmente, à turbidez, cor e sólidos suspensos da água nos meses com elevada precipitação, quando há uma geração crítica de resíduos.

A visita à ETA Miringuava confirmou a necessidade de treinamento e capacitação de operadores, de preferência específicos para o desaguamento de lodo. Cuidados com o encaminhamento dos efluentes e as dosagens necessárias são importantes. Foi confirmada a possibilidade de desviar a primeira parcela da água de lavagem dos filtros ao TEHASLD, atentando ao tempo de abertura e fechamento de comportas ou válvulas.

A série de cálculos do estudo tem fundamentação teórica e prática, podendo ser aplicada em futuras Unidades de Desaguamento de Lodo, de acordo com as preferências operacionais do projetista.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. São Paulo, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1996). **Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residuals**. New York. 294p.

ANDREOLI, C.V; *et al.* **Resíduos sólidos do saneamento ; processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282 p.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

CONAMA. **Resolução nº 430**. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 2011.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água (ETA)**. In: ANDREOLI, C.V. (coord.) **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. p. 121 - 142. Projeto PROSAB.

CORDEIRO, J. S. **Remoção de Água de Lodos de ETAs Através de Filtração Forçada**. In: REALI, M. A. P. (coord). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 225 p. Projeto PROSAB.

CORNWELL, David A. **Water treatment residuals engineering**. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2006.

CORNWELL D. A.; BISHOP M. M.; GOULD G.R.; VANDERMEYDEN C. **Handbook of Practice – Water Treatment Plant Waste Management**. American Water Works Association. Denver USA. 1987.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB. 2003. 480 p.

DI BERNARDO, L.; CARVALO, E. H.; SCALIZE, P. S. **Disposição de Resíduos Líquidos de ETAs em ETEs**. In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA*. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999. p. 169-202.

DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos. Ed. RIMA, 2002.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008. Volume 1.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008. Volume 2.

DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P. S.; SOUZA FILHO, A. G. **Água de Lavagem de Filtros Rápidos**. In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA*. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999. p. 143-168.

FERREIRA FILHO, S.S. ALÉM SOBRINHO. P. **Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água**. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 3, n. 3. Jul/Set. 1998.

FERREIRA FILHO, S. S. **Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade**. In: 19 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Foz Do Iguaçu, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, ABES, II-025, p.1181-92.

FONTANA, A. O. **Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros – Estudo de Caso – ETA Cardoso**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, 2004.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas-SP:Editora Átomo. 2005. 444 p.

LUCIANO, S. Y. et. al. **Tratabilidad de los lodos producidos em la potabilización del agua.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, XXVI, 1998, Lima – Peru. Anais... Lima: AIDIS, 1998.

MARTINS, F. B. et.al. **Reuso da Água de Retro-Lavagem de Filtros em Estações de Tratamento de Água: Estudo do Caso da ETA de Alvorada- RS** - Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, Canoas – RS, 2009.

NETTO, J. M. A. e RICHTER, C. A. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada.** São Paulo. Editora Edgard Blucher LTDA. 1991.

Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) **Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

REALI, M. A. P. **Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs.** In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA.* Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999. p. 21-39.

REALI, M. A. P. (coord). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 225 p. Projeto PROSAB.

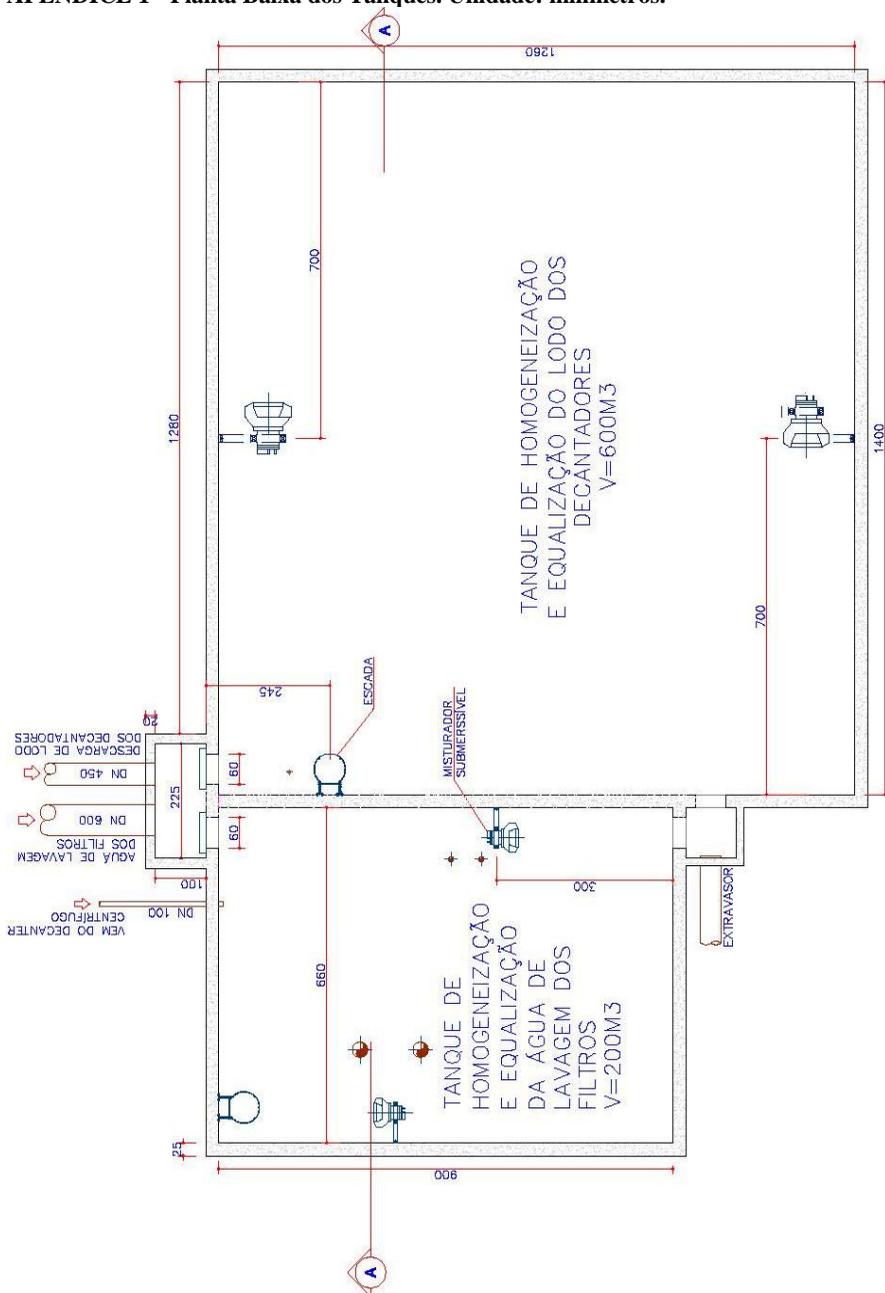
RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

SARON, A.; SILVA, E. P. Redução na Dosagem de Sulfato de Alumínio na ETA Guaraú com a Utilização do Sistema de Recuperação de Água de Lavagem de Filtros. ABES. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 2001.

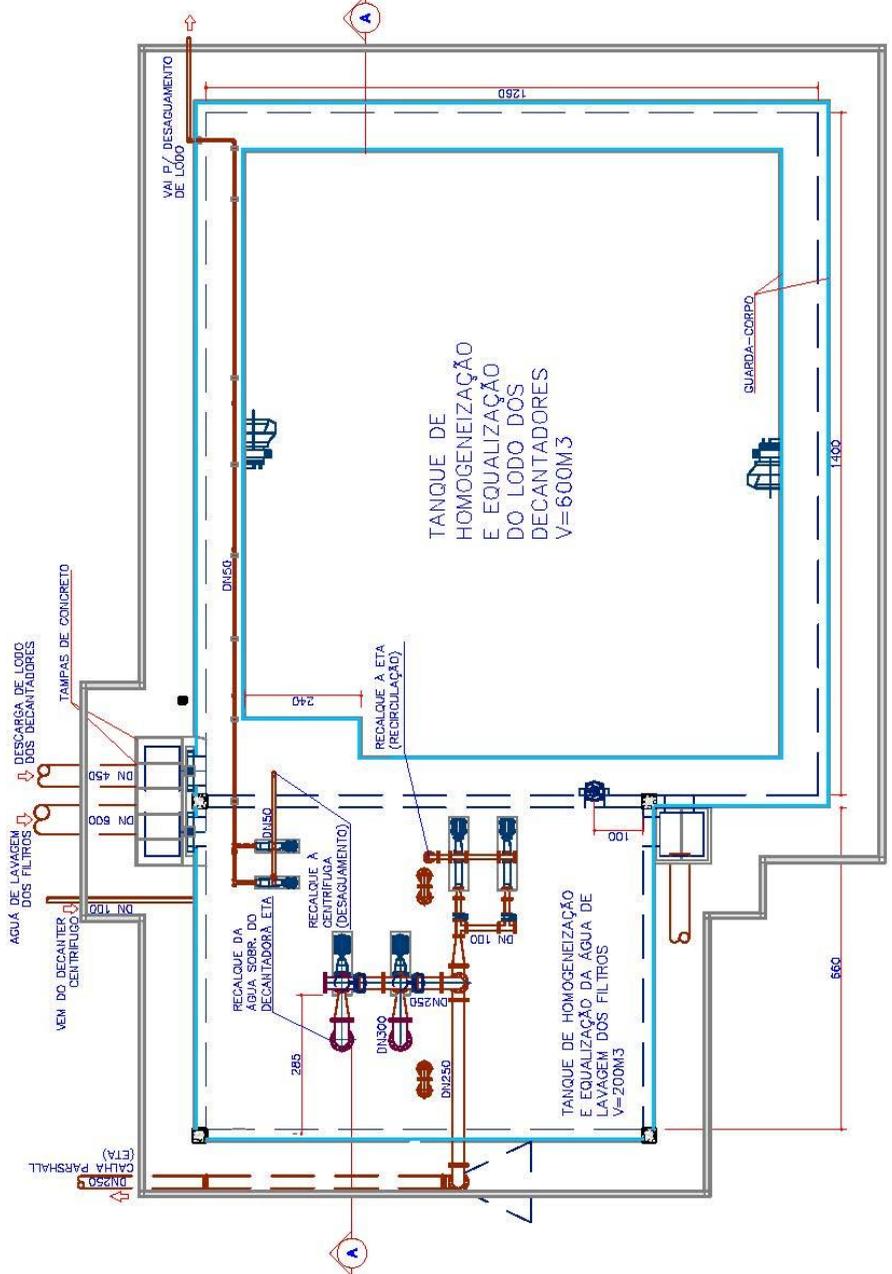
SOUZA FILHO, A. G. Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem dos filtros rápidos de estação de tratamento de água que utiliza cloreto férrico como coagulante primário. São Carlos. 245 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

8. APÊNDICES

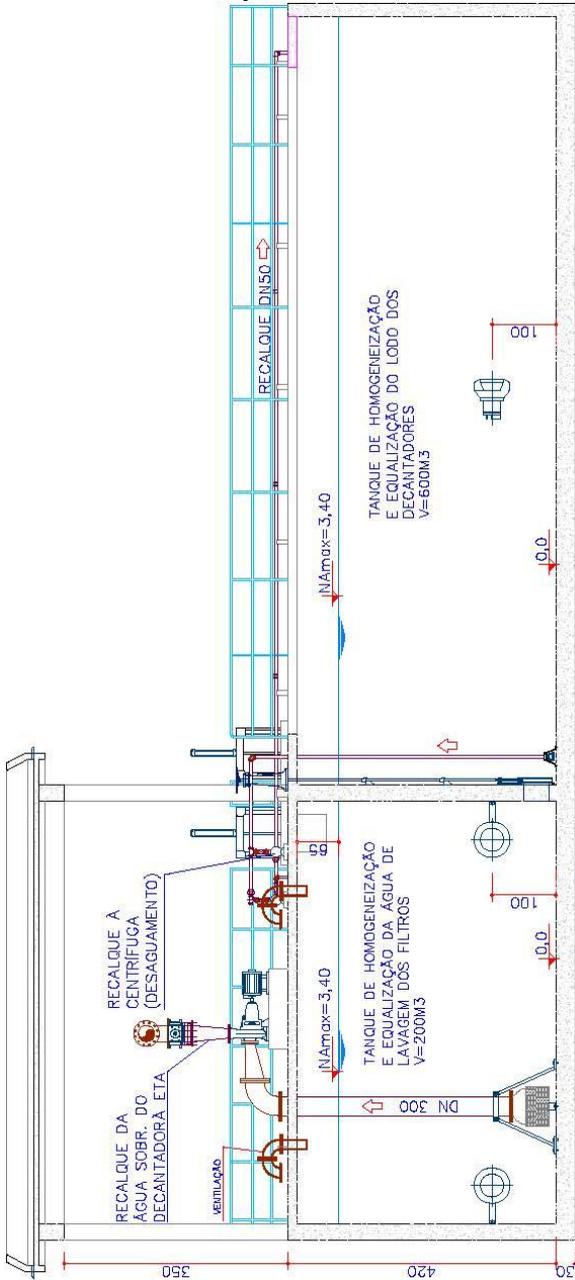
APÊNDICE 1 - Planta Baixa dos Tanques. Unidade: milímetros.



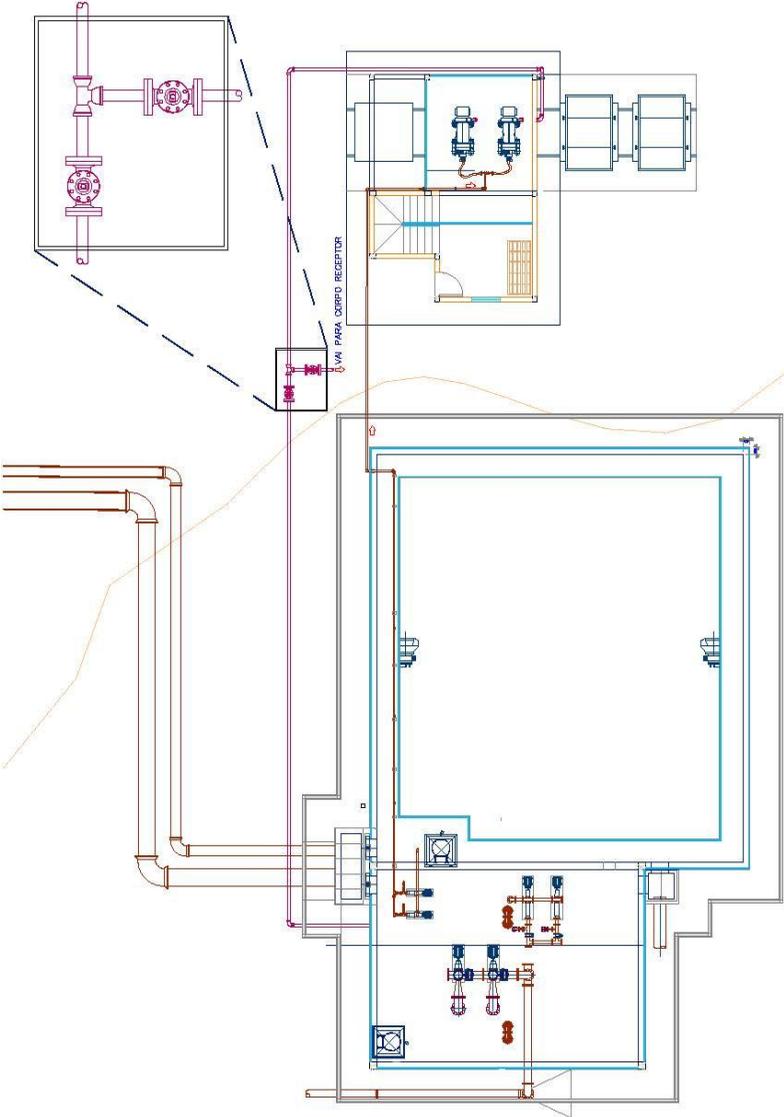
APÊNDICE 2 - Planta Alta dos Tanques. Unidade: milímetros.



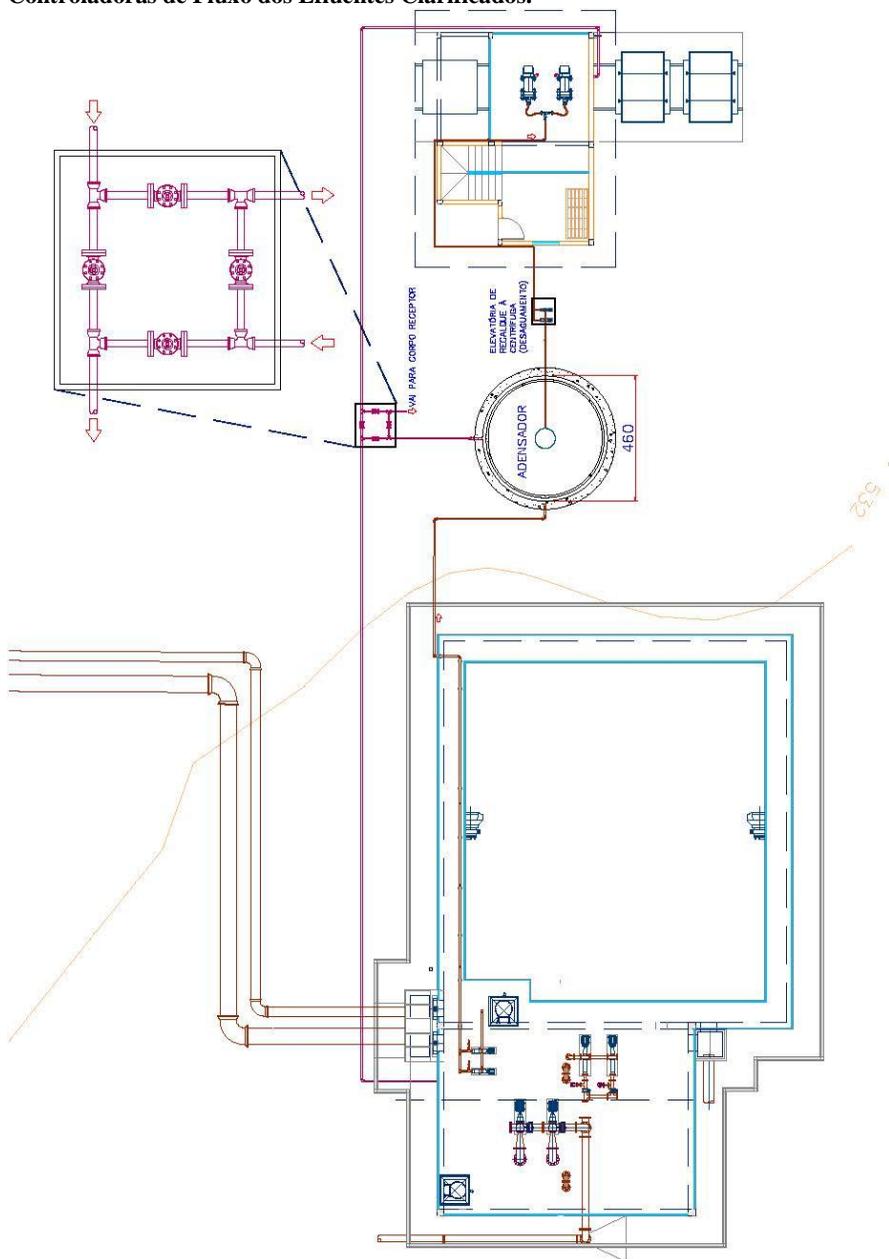
APÊNDICE 3 - Corte AA dos Tanques. Unidade: milímetros.



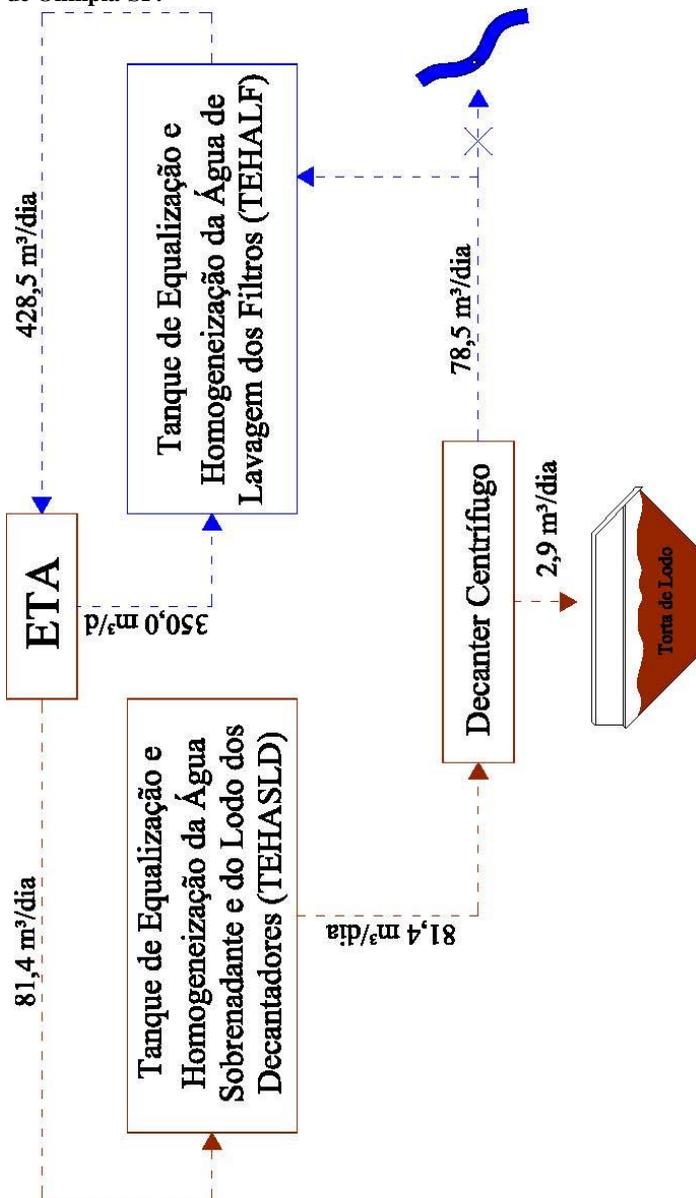
APÊNDICE 4 - Planta Alta da UDL Proposta com Detalhe das Válvulas Controladoras de Fluxo do Efluente Clarificado.



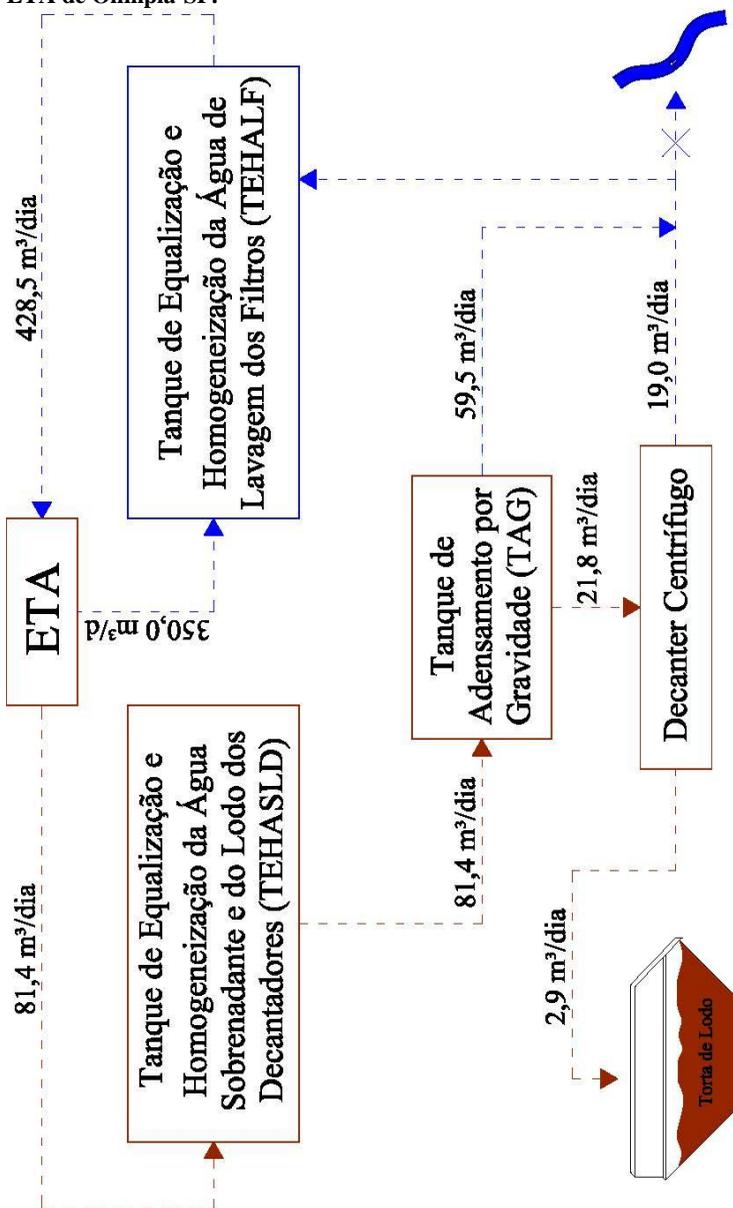
APÊNDICE 5 - Planta Alta da UDL Tradicional com Detalhe das Válvulas Controladoras de Fluxo dos Efluentes Clarificados.



APÊNDICE 6 - Resultados de Volumes Gerados na UDL Proposta para a ETA de Olímpia-SP.



APÊNDICE 7 - Resultados de Volumes Gerados na UDL Tradicional para a ETA de Olímpia-SP.



9. ANEXOS

ANEXO 1 - Análise de Água do Rio Cachoeirinha dia 21 de janeiro de 2010.



Lanatec[®]
Análises Tecnológicas

Controle da qualidade de acordo com a NBR ISO/IEC 17.025:2005



CERTIFICADO ANALÍTICO

| | |
|---|--------------------------------|
| Requerido por: Departamento de Água e Esgoto do Município de Olímpia. | |
| Endereço: | Cidade: Olímpia - SP |
| Identificação da Amostra: Água Superficial - Cachoeirinha. | Coletor Responsável - Lanatec. |
| Data do Recebimento: 21/01/2010 | Ref.: 16.917/10 |

| DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS | UNIDADE | *Q.M. | BRANCO | RESULTADOS OBTIDOS | **VMP |
|----------------------------|--------------|-------|--------|--------------------|-----------|
| Turbidez | NTU | 0,01 | <0,01 | 16,3 | 40,0 |
| Cor | Hazen | 1,0 | <1,0 | 55,0 | - |
| pH | Adimensional | 0,01 | <0,01 | 7,0 | 6,0 a 9,0 |
| Ferro dissolvido | mg/L | 0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,3 |
| Manganês total | mg/L | 0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,1 |
| Nitrogênio Total | mg/L | 0,01 | <0,01 | 0,7 | - |
| Nitrato | mg/L | 0,1 | <0,1 | 0,7 | 10,0 |
| Nitrito | mg/L | 0,01 | <0,01 | 0,01 | 1,0 |
| Nitrogênio Amoniacal total | mg/L | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 3,7 |

Microbiologia

| EXAME BACTERIOLÓGICO | UNIDADE | RESULTADOS OBTIDOS | VMP*** |
|----------------------|------------|--------------------|--------|
| Coliformes totais | NMP/100 mL | ≤1.600,0 | 200 |
| Coliformes fecais | NMP/100 mL | <3,0 | 200 |

METODOLOGIA: Todos os resultados analíticos aqui apresentados foram obtidos de acordo com o APHA-AWWA-WPCF - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20 Edition - Washington 1998.*

*Q.M.: Quantificação Mínima.

**V.M.P.: Valores Máximos Permitidos estabelecidos na Resolução nº 357, 17 de Março 2005 (CONAMA).

OBS: Os resultados das análises referem-se exclusivamente a amostra analisada.

São José do Rio Preto, 03 de Fevereiro de 2010.


Dr. Mário Luiz Cosso
CRBM, 0170 - CRQ. IV 43940
Especialista em Tecnologia
Ambiental e Microbiologia

ANEXO 2 - Ensaio de coagulação-floculação-sedimentação para obtenção da dosagem ótima do coagulante.

