



Contrato nº 56/2017

Projeto Executivo para a Revitalização e Modernização do Sistema Produtor Bolonha - ETA Bolonha e Ampliação do Sistema de Reservação/Adução de Água de Ananindeua / Marituba

PRODUTO P2.1 - PROJETO HIDROMECÂNICO DA ETA BOLONHA

Volume I/III - Tomo I - Memoriais Descritivo e de Cálculo

Setembro/2020

1707-E-TA-HDM-RT-001-R08



ENCIBRA S.A.
Estudos e Projetos de Engenharia



P2.1 – PROJETO HIDROMECÂNICO DA ETA BOLONHA

Contrato Nº 56 / 2017

**PROJETO EXECUTIVO PARA A REVITALIZAÇÃO E
MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTOR
BOLONHA - ETA BOLONHA E AMPLIAÇÃO DO
SISTEMA DE RESERVAÇÃO / ADUÇÃO DE ÁGUA DE
ANANINDEUA / MARITUBA**

Nº ENCIBRA – 1707-E-TA-HDM-RT-001-R08

Volume I/III – Tomo I

Memoriais Descritivo e de Cálculo

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL TÉCNICO		
			EXECUÇÃO	APROVAÇÃO	VISTO
00	14/12/2017	Relatório Técnico Parcial	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
01	08/02/2018	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 03/2018	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
02	26/03/2018	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 10/2018	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
03	28/05/2018	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 15/2018	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
04	23/08/2018	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 29/2018	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
05	14/12/2018	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 45/2018	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
06	30/05/2019	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 08/2019	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
07	28/11/2019	Revisão Sistema de Cloração	S.S.F.F.	A.M.L.	A.R.G.L.
08	02/09/2020	Revisão em atendimento ao Parecer Técnico Nº 47/2020	S.S.F.F.	A.M.L.	A.Z.

APRESENTAÇÃO

A **ENCIBRA S/A Estudos e Projetos de Engenharia** apresenta por meio deste relatório o **PRODUTO P.2.1 – PROJETO HIDROMECAÂNICO DA ETA BOLONHA – VOLUME I/III MEMORIAIS DESCRITIVO E DE CÁLCULO, E DESENHOS**, referente ao “**Projeto Executivo para Revitalização e Modernização do Sistema Produtor Bolonha – ETA Bolonha e Ampliação do Sistema de Reservação/Adução de Água de Ananindeua/Marituba**”, em conformidade ao contrato **Nº56/2017**, firmado com a **COSANPA** - Companhia de Saneamento do Pará.

Este documento apresenta o relatório técnico do Projeto Executivo Hidromecânico da ETA Bolonha, contendo: os memoriais descritivos e de cálculo das intervenções propostas para as unidades de floculação, sedimentação, filtração e sistema de armazenamento e dosagem de produtos químicos.

O Projeto Hidromecânico da ETA Bolonha é composto por 03 (três) volumes, a saber:

- Volume I – Memoriais de Descritivo e de Cálculo, e Desenhos;
- Volume II – Especificações Técnicas; e
- Volume III – Manual de Operação

Sendo que este volume está subdividido por 04 (quatro) tomos:

- Tomo I – Memoriais Descritivo e de Cálculo; e
- Tomos II a IV – Desenhos.

Desta forma, a **ENCIBRA** colocará à disposição da **COSANPA**, ao longo deste contrato, toda sua experiência, acervo técnico e conhecimento relativo aos trabalhos de um modo geral e, em especial, naquilo que concerne aos projetos de acordo com o escopo do presente contrato.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	APRESENTAÇÃO DA ETA BOLONHA E DEFINIÇÃO DAS INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS PARA AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRATAMENTO	9
3	INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE FLOCULAÇÃO.....	27
3.1	CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SISTEMA DE AGITAÇÃO.....	29
3.2	CÁLCULO DA ROTAÇÃO DO SISTEMA DE AGITAÇÃO	30
3.3	CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SISTEMA DE AGITAÇÃO.....	30
3.4	CARACTERÍSTICAS DO FLOCULADOR MECANIZADO A SER ADQUIRIDO	30
3.5	VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA FLOCULADA DE CADA FLOCULADOR.....	32
4	INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO ...	38
5	INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE FILTRAÇÃO	70
6	INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS	104
6.1	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E APLICAÇÃO DE COAGULANTES	104
6.2	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E APLICAÇÃO DE AGENTE PRÉ E PÓS ALCALINIZANTE.	106
6.3	6.3 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E APLICAÇÃO DE POLÍMERO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO.....	108
6.4	SISTEMA DE CLORAÇÃO	110
6.5	SISTEMA DE FLUORETAÇÃO	113
7	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS	115
7.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	115
7.2	CÁLCULO DO CONSUMO DE COAGULANTES - SULFATO DE ALUMÍNIO A 50% E PAC A 23%	120
7.3	CÁLCULO DO CONSUMO DE POLÍMERO EM EMULSÃO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO	127
7.4	CÁLCULO DO CONSUMO DE ALCALINIZANTE – HIDRÓXIDO DE SÓDIO A 50%.....	131
7.5	PERDA DE CARGA MÁXIMA NOS ORIFÍCIOS DO DIFUSOR (M.C.A):	139
7.6	CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁCIDO FLUOSSILÍCICO.....	150
8	ANEXOS.....	155
8.1	ANEXO 1 – VERIFICAÇÃO DO PERFIL HIDRÁULICO DA ETA BOLONHA	155



INTRODUÇÃO

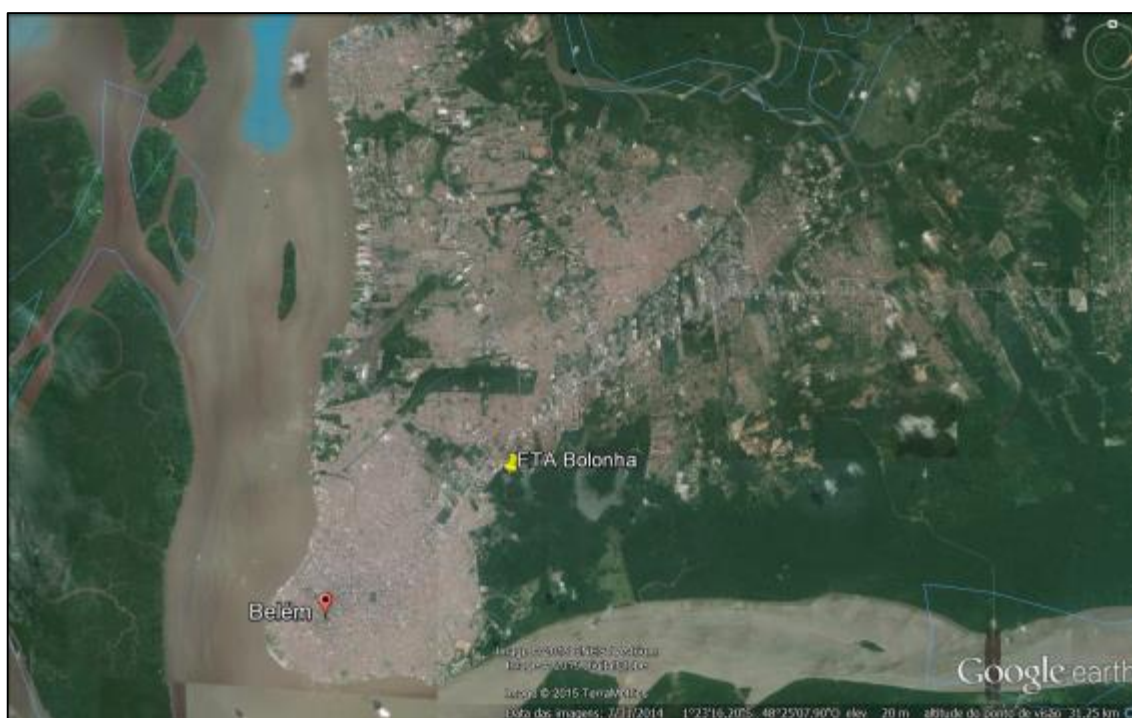
1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é abastecida parcialmente pelo Sistema Produtor de Água do Bolonha, sendo que este é constituído por uma estação de tratamento de água, doravante denominada de ETA Bolonha.

A implantação da ETA Bolonha foi efetuada em duas etapas, sendo que a primeira foi implantada no ano de 1986 com capacidade nominal de tratamento igual a 3,2 m³/s. Posteriormente, a mesma foi ampliada para 6,4 m³/s mediante a construção da segunda etapa, sendo que esta entrou em operação do ano de 2010.

A ampliação do Sistema Produtor Bolonha insere-se dentro do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMB, sendo que se previu para o ano de 2025 a necessidade de produção de água tratada em torno de 10,2 m³/s. A Figura 1.1 e a Figura 1.2 apresentam uma vista geral da ETA Bolonha e seu posicionamento em relação à Região Metropolitana de Belém e uma vista geral de suas principais partes constitutivas.

Figura 1.1 – Localização do Sistema de Produção de Água Bolonha em relação ao município de Belém



Fonte: Google Earth, 2015

Figura 1.2 – Vista geral da ETA Bolonha e disposição de seus processos unitários de tratamento



Fonte: Google Earth, 2015

A ETA Bolonha foi concebida como sendo uma estação de tratamento de água do tipo convencional de ciclo completo, dotada dos processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e correção final de pH. Embora ambas as etapas tenham sido concebidas inicialmente como idênticas, considerando algumas evoluções tecnológicas que ocorreram entre a implantação da primeira e segunda etapa, esta difere fundamentalmente nos processos de sedimentação adotados, sendo que os decantadores da 1ª etapa são convencionais de fluxo horizontal dotados de bandejas horizontais e os da segunda etapa são decantadores de alta taxa (decantadores laminares).

Considerando que o projeto da segunda etapa da ETA Bolonha contemplou uma série de melhorias operacionais em relação à sua primeira etapa, a COSANPA efetuou a contratação de projetos de engenharia que possibilitassem fundamentalmente:

- Projeto de adequação da primeira etapa da ETA Bolonha com vistas a dotá-la de avanços tecnológicos de processos unitários e equipamentos de forma a aproximá-la tanto quanto possível do projeto efetuado para a sua segunda etapa. Desta forma, objetiva-se assegurar plenas condições garantir uma capacidade de produção de água igual a 6,4 m³/s.
- Readequação ambiental do Complexo Produtor Bolonha com vistas a possibilitar o tratamento dos resíduos gerados no processo de tratamento de água, notadamente para a

água de lavagem dos filtros e lodo descarregado pelos decantadores. Desta forma, evitar-se-á futuramente o seu encaminhamento para o igarapé Murucutum.

Tendo em vista a necessidade de readequação da primeira etapa da ETA Bolonha tomando-se por base as obras efetuadas em sua segunda etapa, este Relatório objetiva apresentar uma Memória de Cálculo relativa às obras de alteração da primeira e segunda etapa da ETA Bolonha que deverão ser implantadas com vistas a possibilitar o aumento de sua capacidade hidráulica das atuais 5,0 m³/s para 6,4 m³/s.



**APRESENTAÇÃO E DEFINIÇÃO DAS INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS PARA
AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRATAMENTO**

2 APRESENTAÇÃO DA ETA BOLONHA E DEFINIÇÃO DAS INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS PARA AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRATAMENTO

O Sistema de Produção de Água do Município de Belém é composto por uma estação de tratamento de água denominada de ETA Bolonha, que foi projetada para uma vazão de final de plano igual a 6,4 m³/s. A sua implantação ocorreu em etapas iguais a 3,2 m³/s, sendo que a primeira etapa data de 1986 e a segunda etapa data de 2010. Atualmente, a vazão máxima afluyente a ETA Bolonha tem situado próximo de 5,0 m³/s.

Ambas as etapas implantadas foram concebidas como sendo do tipo convencional de ciclo completo, composto por processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e correção final de pH.

A água bruta aduzida a partir da captação de água bruta chega a ETA Bolonha por recalque e a mesma descarrega em um canal dotado comportas que possibilita o envio da água para ambas as etapas 1 e 2. O projeto da primeira etapa considerou a instalação de uma Calha Parshall com largura de garganta igual a 6' (183 cm) no canal de água bruta, sendo que a mesma possibilita trabalhar em condições de não afogamento com vazões entre 73,6 L/s a 2.931 L/s (Figura 2.1).

Como o projeto da etapa 2 considerou que a sua chegada da água bruta seria um rebatimento da etapa 1, da mesma forma, foi também implantada uma Calha Parshall de igual dimensão no seu canal de água bruta (vide Figura 2.2).

**Figura 2.1 – Vista geral do canal de chegada de água bruta e Calha Parshall instalada na
Etapa 1 – ETA Bolonha**



**Figura 2.2 – Vista geral do canal de chegada de água bruta e Calha Parshall instalada na
Etapa 2 – ETA Bolonha**



Como ambas as Calhas Parshall não possuem condições ótimas de trabalharem como elemento de macromedicação, tampouco como unidade de mistura rápida, haja vista que ambas deverão trabalhar em condições afogadas para vazões individuais iguais a 3,2 m³/s, a Cosanpa atualmente efetua a aplicação de coagulante diretamente na adutora de chegada de água bruta, conforme apresentado na figura 2.3.

Figura 2.3 – Vista geral do ponto de aplicação de coagulante diretamente na adutora de chegada de água bruta – ETA Bolonha



Os únicos produtos químicos atualmente aplicados nas Calhas Parshall existentes são de polímero como auxiliar de floculação. Não há indicação de aplicação de agentes pré-alcalinizantes para o controle do pH de coagulação.

Considerando o projeto efetuado para a etapa 1 e por ser a mesma espelho da etapa 2, não existem maiores comentários a serem efetuados com respeito ao processo de coagulação. A decisão da Cosanpa de efetuar a mudança do ponto de aplicação do coagulante para a adutora de chegada de água bruta é relevante, pois permite a sua dosagem em um único ponto.

Ainda que as condições de mistura do coagulante na adutora de água bruta também não sejam ideais, a mesma pode ser melhorada por meio de instalação de difusores e demais dispositivos hidráulicos que permitam a melhor dispersão do coagulante na fase líquida.

Desta forma, tem-se que:

➤ **Intervenção 1**

Melhoria do sistema de aplicação de coagulante na fase líquida mediante a implantação de difusores na adutora de água bruta.

Para fluoretação propõe-se a implantação de dois tanques de armazenamento com capacidade igual a 20 m³ cada, totalizando 40 m³.

Duas bombas de dosagem com vazão individual igual a 20 L/h a 120 L/h que estarão localizadas junto ao sistema de alcalinização, junto ao local do atual sistema de coagulantes.

➤ **Intervenção 2**

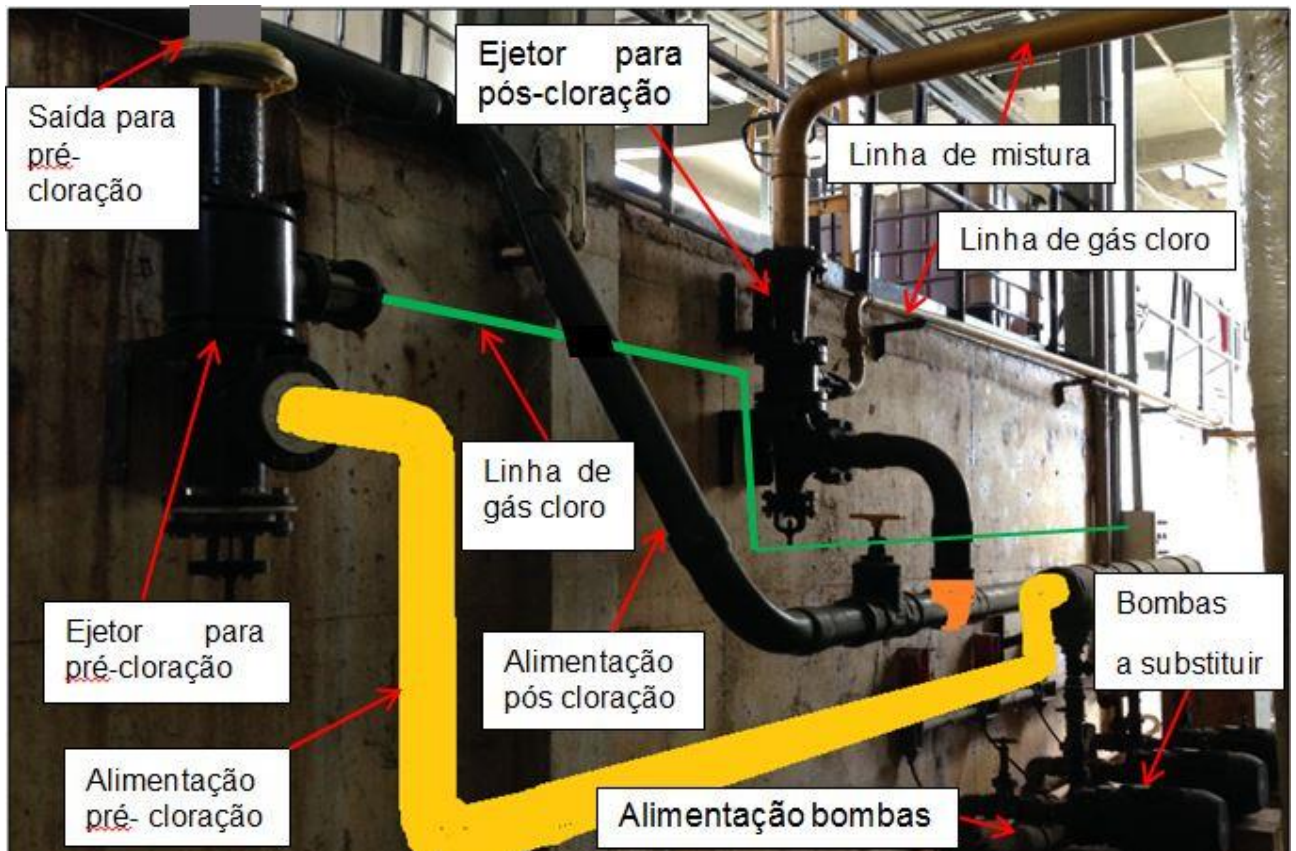
As instalações de cloração existentes foram modificadas para aplicação somente da pós-cloração, entretanto existia um sistema completo com pré e pós-cloração o qual deverá ser reabilitado.

A figura a seguir apresenta o sistema existente, no qual aparece um ejetor que poderá ser utilizado para a pré-cloração, embora no projeto executivo seja verificada a conveniência de trocar em todo ou em parte o sistema de cloração, tendo em vista seu estado de conservação.

Caso o sistema de cloração seja totalmente trocado, sugere-se os seguintes equipamentos:

- 03 evaporadores de cloro com capacidade individual igual a 100 kg/h, sendo duas unidades em operação e mais uma unidade reserva;
- 03 cloradores com capacidade individual igual a 100 kg/h, sendo duas unidades em operação (pré e pós) e mais uma unidade reserva;
- 02 injetores de cloro com capacidade individual igual a 100 kg/h cada;
- 04 bombas de água de arraste com vazão individual igual a 25 m³/h cada, sendo duas para atendimento da pré-cloração e mais duas para atendimento da pós-cloração.

Figura 2.4 - Sistema de aplicação de cloro existente a ser modificador



A reabilitação deverá ser feita conforme descrito a seguir:

Será separado o sistema de pós, já existente, do pré, onde serão usadas novas bombas, alimentadas desde a tubulação existente, que vem desde a caixa de água filtrada. A separação deverá ser conseguida com a troca de tê por curva de 90° (peça em laranja) assim como no recalque das bombas onde será colocada uma tubulação com quatro curvas, como mostrado com a linha em amarelo, até alimentar o ejetor.

A tubulação de gás deverá ser instalada desde o dosador na sala de cloração e a tubulação de mistura água-cloro deverá ser instalada desde o ejetor até o ponto de aplicação (existente) na caixa de entrada de água bruta, onde será trocado o difusor (em mau estado).

O detalhamento da instalação deverá ser feito durante a elaboração de projeto executivo, inclusive poderá ser cogitada a troca de todo o equipamento.

➤ **Intervenção 3**

Instalação de um sistema de macromedição na adutora de água bruta que possibilite o controle das vazões aduzidas a ETA Bolonha. O elemento de macromedição deverá, também, possibilitar o controle das vazões de coagulante aplicadas na fase líquida e, desta forma, deverá estar conectada ao sistema de automação da ETA Bolonha.

➤ **Intervenção 4**

A ETA Bolonha não possui um sistema de pré-alkalinização implantado, de forma que, em caso de necessidade de controle do pH de coagulação, este encontra-se inoperante. Desta forma, sugere-se a revisão do sistema de dosagem de produtos químicos, prevendo-se a implantação de um sistema de pré-alkalinização.

A implantação de um sistema de pré-alkalinização pode ser efetuada mediante a aplicação de uma suspensão de soda cáustica a 50%, podendo esta ser adquirida comercialmente. Assumindo uma dosagem média de suspensão de soda cáustica líquida a 50%.

Desta forma, pode-se prever a implantação de quatro tanques de estocagem com capacidade individual igual a 40 m³ cada, totalizando 160 m³, e mais quatro bombas dosadoras que possibilitem a aplicação de suspensão de soda cáustica na forma de pré e pós-alkalinização com vazão individual igual a 30 L/h a 240 L/h.

Após o processo de coagulação, a água coagulada é conduzida por meio de um canal, sendo enviada ao sistema de floculação de sua respectiva etapa ou módulo de tratamento. Cada etapa de tratamento é composta por seis unidades de floculação mecanizadas, sendo que cada unidade é dotada de três câmaras de floculação em série.

Cada câmara de floculação possui 6,63 metros de largura por 6,47 metros de comprimento e altura de lâmina d'água útil igual a 3,94 metros. Desta forma, o volume unitário de cada câmara de floculação é igual a 169 m³. Como cada unidade de floculação é dotada de três câmaras em série, tem-se que o volume de cada unidade de floculação é igual a 507 m³. As Figuras 2.5 e Figura 2.6 apresentam uma vista geral das unidades de floculação atualmente em operação na ETA Bolonha.

**Figura 2.5 – Vista geral das unidades de floculação mecanizadas implantada ETA Bolonha –
Etapa 1**



**Figura 2.6 – Vista geral das unidades de floculação mecanizadas implantada ETA Bolonha –
Etapa**



Admitindo-se uma vazão atual de operação e de final de plano igual a 5,0 m³/s e 6,4 m³/s, tem-se que o tempo de detenção hidráulico a ser esperado nas unidades de floculação deverá ser igual a:

$$\theta_{atual} = \frac{Vol}{Q} = \frac{12x507 \text{ m}^3}{5,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \cong 20,3 \text{ min}$$

$$\theta_{final} = \frac{Vol}{Q} = \frac{12x507 \text{ m}^3}{6,4 \text{ m}^3/\text{s}} \cong 15,8 \text{ min}$$

Para a vazão atual aduzida a ETA Bolonha igual a 5,0 m³/s, tem-se que o tempo de detenção hidráulico esperado no processo de floculação é aparentemente razoável, sendo este em torno de 20 minutos. No entanto, para a condição de final de plano (6,4 m³/s), tempo de detenção deverá ser reduzido para 15 minutos, o que pode ser considerado como um valor baixo.

Embora reduzido, pode-se operacionalmente corrigir esta deficiência e limitação com relação a um baixo tempo de detenção por meio de aumento nas dosagens de coagulante com o intuito de possibilitar uma maior taxa de agregação de partículas coloidais.

Este aumento na dosagem de coagulante, ainda que incorra em maiores custos operacionais, deverá possibilitar uma correção na operação da ETA Bolonha haja vista ser impraticável o aumento das unidades de floculação.

Uma das maiores limitações das unidades de floculação atualmente em operação, tanto para a etapa 1 como para a etapa 2, é a ineficiência dos seus equipamentos de agitação. Uma vez que os mesmos possuem diâmetro de rotor muito reduzido em relação às dimensões das câmaras de floculação, a sua capacidade de conferir gradientes de velocidade adequados à fase líquida é bastante reduzida. Desta forma, tem-se que:

➤ **Intervenção 5**

Modificação do projeto dos floculadores atualmente implantados nas etapas 1 e 2, alterando os equipamentos de agitação de forma que seus diâmetros de rotor mínimo sejam iguais a 3,0 metros.

Um aspecto relevante a ser considerado é que muitas das comportas de passagem de água coagulada e floculada atualmente em operação em ambas as etapas 1 e 2 da ETA Bolonha apresentam elevado estado de deterioração, com seus sistemas de acionamento praticamente inoperantes, o que irá exigir que os mesmos sejam trocados. Ainda que estes sejam trocados, também é importante salientar a necessidade de uma correta especificação de válvulas,

comportas e demais elementos de controle de vazões, de forma, que os equipamentos que vierem a ser adquiridos sejam de boa procedência e permitam uma montagem adequada.

➤ **Intervenção 6**

Troca e substituição das comportas e válvulas de controle de vazões que permitem a sua condução às unidades de floculação, uma vez que as mesmas se encontram em elevado estado de deterioração. A sua aquisição deverá balizada por uma correta especificação dos equipamentos a serem instalados.

Uma vez floculada, a água é enviada ao sistema de sedimentação, sendo que cada etapa da ETA Bolonha é dotada de sistemas de decantação que operam com diferentes tecnologias de tratamento.

A primeira etapa de implantação da ETA Bolonha foi concebida com seis decantadores do tipo fluxo horizontal e dotada de bandejas horizontais. Cada decantador possui dimensões iguais a 20,0 metros de largura por 28,25 metros de comprimento e 5,17 metros de altura, perfazendo uma área superficial igual a 565 m² cada. A Figura 2.7 apresenta uma vista geral dos decantadores em operação e implantados na primeira etapa da ETA Bolonha.

Uma vez que os decantadores implantados em primeira etapa não apresentavam rendimento satisfatório, o projeto de ampliação da ETA Bolonha adotou a sua transformação em decantadores de alta taxa, mantendo-se as mesmas dimensões.

Tendo em vista facilitar os aspectos construtivos com relação a implantação dos elementos de sedimentação laminar, o projeto adotou elementos planos do tipo lona dispostos ao longo de sua área de sedimentação. A Figura 2.8 apresenta uma vista dos decantadores implantados em segunda etapa.

**Figura 2.7 – Vista geral dos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha -
Decantadores convencionais de fluxo horizontal**



**Figura 2.8 – Vista geral dos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha -
Decantadores de alta taxa**



Para as vazões iguais a 5,0 m³/s e 6,4 m³/s, o que corresponde a vazões iguais a 417 L/s e 533 L/s em cada unidade de sedimentação, o seu valor de taxa de escoamento superficial deverá ser da ordem de:

$$q_{atual} = \frac{Q}{A} = \frac{0,417 \frac{m^3}{s} \cdot 86400 \frac{s}{dia}}{20,0 m \cdot 28,25 m} \cong 63,8 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia}$$

$$q_{atual} = \frac{Q}{A} = \frac{0,533 \frac{m^3}{s} \cdot 86400 \frac{s}{dia}}{20,0 m \cdot 28,25 m} \cong 81,5 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia}$$

Este valor de taxa de escoamento superficial é bastante reduzido, o que poderá compensar os baixos valores de tempo de detenção hidráulico nas unidades de floculação. Portanto, do ponto de vista de processos unitários, a transformação dos decantadores atualmente implantados na primeira etapa em decantadores de alta taxa é plenamente adequada.

No entanto, alguns pontos devem ser destacados quando da revitalização e modernização dos decantadores da primeira etapa e que deverão impactar no projeto de concepção e dimensionamento das unidades que deverão compor a unidade de tratamento de resíduos, a saber:

- Os decantadores concebidos em segunda etapa foram projetados como decantadores de alta taxa e dotados de sistemas de remoção semi-contínua de lodo.

Desta forma, a condição de projeto de revitalização e modernização dos decantadores da primeira etapa foi também dotá-lo de sistemas de remoção semi-contínua de lodo e, para tanto, se faz necessário regularizar o fundo do mesmo.

A questão mais relevante é que os equipamentos de remoção semi-contínua de lodo que foram instalados nos decantadores da etapa 2 nunca trabalharam a contento, sempre apresentando inúmeros problemas operacionais e performance (vide Figura 2.9).

Figura 2.9 – Equipamentos de remoção de lodo instalados nos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha - Decantadores de alta taxa



Desta forma, a revitalização e modernização dos decantadores da primeira etapa e sua transformação em decantadores de alta taxa, bem como a readequação dos atuais decantadores laminares em operação deverão contemplar a troca dos equipamentos de remoção de lodo com vistas a possibilitar que a sua descarga ocorra de forma intermitente ao longo do tempo.

Salienta-se que revitalização e modernização dos decantadores da primeira etapa e sua transformação em decantadores de alta taxa apenas se justifica caso os equipamentos de remoção de lodo adotados sejam de reconhecida credibilidade e confiabilidade. Evidentemente, como também os decantadores implantados em primeira etapa não possuem seus sistemas de remoção de lodo em condições plenas de funcionamento, recomenda-se que:

➤ **Intervenção 7**

Revitalização e modernização das unidades de sedimentação em operação na etapa 1 mediante a sua transformação de decantadores convencionais de fluxo horizontal para decantadores de alta taxa. Para que sua performance não seja afetada pelo acúmulo de lodo nos decantadores, sugere-se a implantação de equipamentos de remoção de lodo de renomada competência, evitando-se que os mesmos sejam adquiridos no mercado nacional.

➤ **Intervenção 8**

Como os sistemas de remoção de lodo dos decantadores da segunda etapa encontram-se inoperantes, os mesmos deverão ser substituídos pelos equipamentos a serem adotados nos decantadores da primeira etapa.

Os decantadores da segunda etapa foram dotados de lonas paralelas como elementos de sedimentação e, conforme observações visuais, as mesmas encontram-se em más condições de utilização. Desta forma, recomenda-se que as mesmas sejam substituídas por módulos de sedimentação laminar do tipo colmeia ou elementos estruturais fixos.

➤ **Intervenção 9**

Substituição das lonas atualmente em operação nos decantadores da segunda etapa por módulos de sedimentação laminar do tipo colmeia. Da mesma forma, estes mesmos elementos devem ser utilizados também na revitalização e modernização dos decantadores da primeira etapa.

A água decantada produzida por todas as unidades de sedimentação, tanto da primeira como da segunda etapa, é conduzida às unidades de filtração. A ETA Bolonha possui um total de dezesseis filtros rápidos por gravidade de fluxo descendente do tipo dupla camada areia e antracito, operando hidraulicamente como taxa de filtração declinante. Oito unidades de filtração foram implantadas em primeira etapa e mais oito unidades em segunda etapa. Atualmente, somente os filtros da segunda etapa encontram-se em operação.

Cada unidade de filtração possui duas câmaras, com dimensões unitárias iguais a 6,0 metros de largura por 12,0 metros de comprimento, o que perfaz uma área útil por câmara de filtração igual a 72 m² e 144 m² por filtro.

A Figura 2.10 e a Figura 2.11 apresentam uma vista geral das unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha.

Figura 2.10 – Vista geral das unidades de filtração implantadas em primeira etapa na ETA Bolonha - Filtros rápidos por gravidade do tipo dupla camada areia e antracito



Figura 2.11 – Vista geral das unidades de filtração implantadas em segunda etapa na ETA Bolonha - Filtros rápidos por gravidade do tipo dupla camada areia e antracito



Para a vazão atual de operação e de final de plano iguais a 5,0 m³/s e 6,4 m³/s, tem-se que a taxa de filtração esperada deverá ser igual a:

$$q_{atual} = \frac{Q}{A} = \frac{5,0 \frac{m^3}{s} \cdot 86400 \frac{s}{dia}}{16.144 m^2} \cong 187,5 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia}$$

$$q_{fp} = \frac{Q}{A} = \frac{6,4 \frac{m^3}{s} \cdot 86400 \frac{s}{dia}}{16.144 m^2} \cong 240 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia}$$

Este valor de taxa de filtração (240 m³/m²/dia) é plenamente compatível para filtros do tipo dupla câmara areia e antracito. Assim sendo, como as unidades de filtração da primeira etapa encontram-se fora de operação e com todas as suas partes constitutivas (sistema de drenagem, camada suporte, materiais filtrantes, válvulas e demais acessórios) em mal estado de conservação (vide Figura 2.12), tem-se que os mesmos terão que ser inteiramente revitalizados e modernizados.

Figura 2.12 – Vista geral da Tabela de comando das válvulas de um dos filtros implantados na primeira etapa na ETA Bolonha – Mau estado de conservação de equipamentos e demais itens acessórios



➤ **Intervenção 10**

Revitalização e modernização completa de todas as unidades de filtração implantadas em primeira etapa, compreendendo a recomposição de seu fundo falso, sistema de drenagem, camada suporte e materiais filtrantes. Todas as válvulas e Tabela de comando deverão ser também trocados.

Como concepção de seu sistema de filtração, tem-se que o mesmo é adequado, não devendo ser efetuados maiores comentários. As taxas de filtração são razoáveis e, quando revitalizados e modernizados, os filtros deverão apresentar condições de produção de água filtrada com valores de turbidez inferior a 0,3 UNT.

Com relação ao seu sistema de lavagem, tem-se que os filtros implantados em primeira etapa foram projetados com lavagem superficial e lavagem em contracorrente. Por sua vez, os filtros implantados em segunda etapa foram projetados já se tendo adotado lavagem com ar seguido de água.

Considerando a maior eficiência de sistemas de lavagem com ar e água quando comparado com lavagem superficial, recomenda-se que durante a revitalização e modernização das unidades de filtração da primeira etapa os mesmos sejam dotados de lavagem com ar e água.

Adicionalmente à modificação do sistema de lavagem das unidades de filtração implantadas em primeira etapa de lavagem superficial e lavagem em contracorrente para lavagem com ar e lavagem em contracorrente, é necessária uma readequação da tubulação de condução de ar a partir do soprador de forma a se evitar o retorno de água para ambas as unidades.

Esta modificação na linha de ar poderá ser efetuada prevendo-se a jusante do soprador um sifão, de modo que uma parte da linha de ar situe-se em cota superior ao nível d'água máximo esperado para as unidades de filtração. Adicionalmente, as instalações elétricas dos sopradores deverão ser reformadas, bem como deverá ser efetuada uma manutenção geral em ambas as unidades.

➤ **Intervenção 11**

Readequação do sistema de lavagem dos filtros implantados em primeira etapa de lavagem superficial para lavagem com ar seguido de água. Desta forma, toda a estrutura do filtro terá que ser revista de forma a possibilitar a incorporação de ar como componente do sistema de lavagem.

Uma vez filtrada, a água produzida pelas unidades de filtração são encaminhadas por gravidade para o tanque de contato e, a partir deste, para o sistema de reservação e sistema de distribuição. Adicionalmente, deverá ser previsto a modificação da linha de ar a jusante dos

sopradores atualmente em operação, prevendo-se um sifão de forma que uma parte da linha de ar situe-se em cota superior ao nível d'água máximo esperado para as unidades de filtração.

Como os sopradores de ar encontram-se atualmente inoperantes, é necessário destacar que os mesmos sejam devidamente reformados de modo a estarem plenamente operacionais.



INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE FLOCULAÇÃO

3 INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE FLOCULAÇÃO

O Sistema Produtor Bolonha possui um total de 12 unidades de floculação, sendo que 6 unidades pertencem a primeira etapa e 6 unidades pertencem a segunda etapa. Cada unidade de floculação está associada a uma unidade de sedimentação, conforme apresentado na Figura 3.1.

Cada unidade de floculação possui um total de três câmaras de floculação em série e os mesmos são dotados de sistemas de agitação com variadores de frequência para ajuste do gradiente de velocidade.

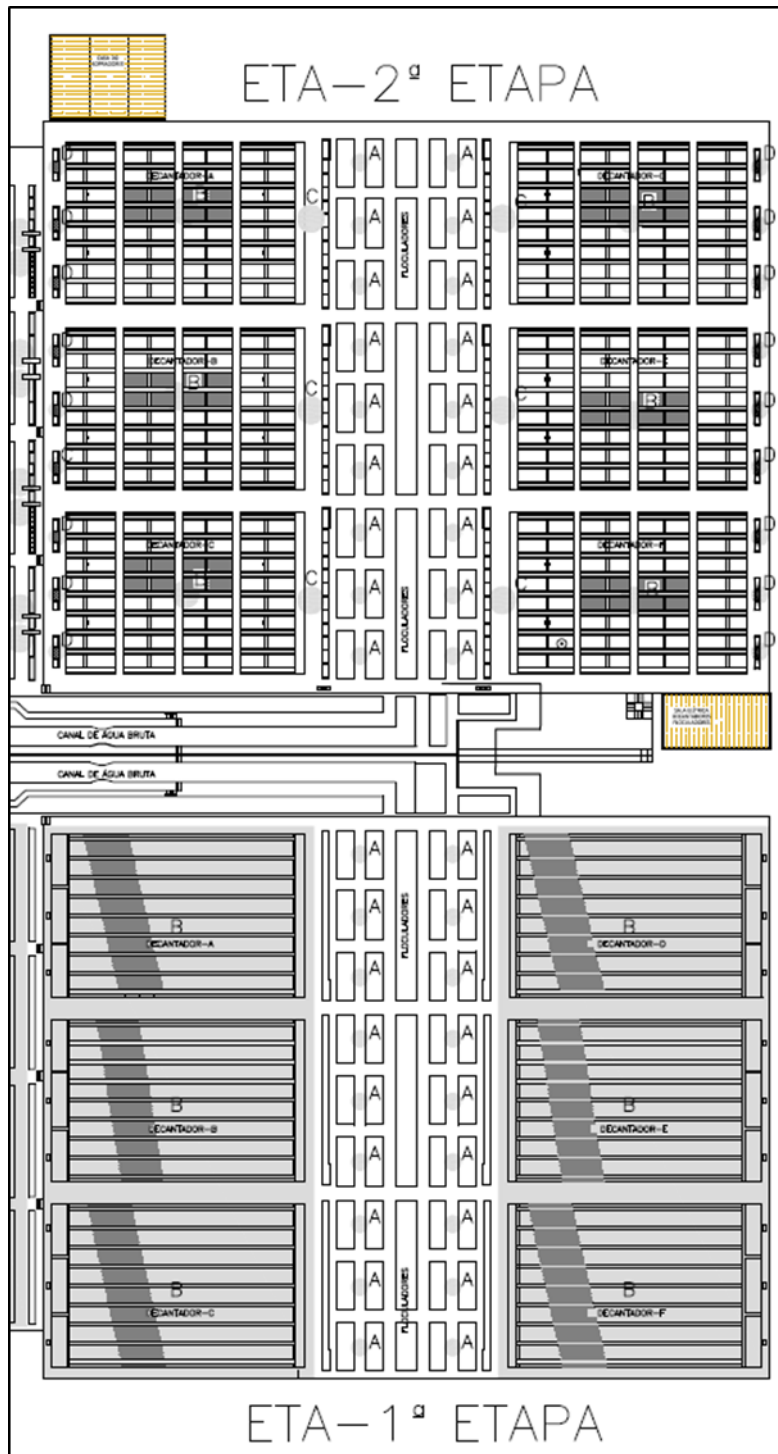
As dimensões básicas individuais de cada câmara do sistema de floculação atualmente implantado em ambas as etapas 1 e 2 são 6,63 metros de largura por 6,47 metros de comprimento e 3,94 metros de altura líquida, o que faz com que o volume de cada câmara de floculação seja de aproximadamente 169 m³. Considerando que cada sistema de floculação é dotado de três câmaras em série, tem-se que o seu volume total é de 507 m³.

As vazões máximas afluentes a ETA Bolonha deverão ser iguais a 6,4 m³/s (sem recirculação da água de lavagem dos filtros) e 6,7 m³/s (com recirculação da água de lavagem dos filtros). Para as vazões de projeto consideradas, os valores esperados para os tempos de detenção hidráulica podem ser calculados de acordo com a seguinte expressão:

$$\theta = \frac{V_{OL}}{Q}$$

Cenário	Condição	Vazão individual a ETA Bolonha (L/s)	Tempo de detenção hidráulica (min)
1	Vazão máxima sem recirculação de água de lavagem dos filtros	6.400	15,9
2	Vazão máxima com recirculação de água de lavagem dos filtros	6.700	15,4

Figura 3.1 – Vista geral das unidades de floculação e sedimentação implantadas no Sistema Produtor Bolonha



Conforme já comentado anteriormente, os tempos de detenção hidráulicos calculados são relativamente reduzidos, sendo que, para estações de tratamento de água do tipo convencionais de ciclo completo, se recomenda valores em torno de 20 a 40 minutos.

Ainda que os mesmos sejam reduzidos, conforme deverá ser explicitado mais adiante, os decantadores deverão trabalhar com bastante folga operacional, o que deverá compensar em

parte os baixos valores de tempo de detenção hidráulico disponíveis para o processo de floculação.

Também se pode operacionalmente corrigir esta deficiência e limitação com relação a um baixo tempo de detenção por meio de aumento nas dosagens de coagulante com o intuito de possibilitar uma maior taxa de agregação de partículas coloidais. Este aumento na dosagem de coagulante, ainda que incorra em maiores custos operacionais, deverá possibilitar uma correção na operação da ETA Bolonha haja vista ser impraticável o aumento das unidades de floculação.

Conforme já comentado anteriormente, uma das maiores limitações das unidades de floculação atualmente em operação, tanto para a etapa 1 como para a etapa 2, é a ineficiência dos seus equipamentos de agitação. Uma vez que os mesmos possuem diâmetro de rotor muito reduzido em relação às dimensões das câmaras de floculação, a sua capacidade de conferir gradientes de velocidade adequados a fase líquida é bastante reduzida.

Considerando que a largura e comprimento de cada câmara de floculação são da ordem de 6,5 metros, vamos admitir uma dimensão mínima para o diâmetro do rotor de cada equipamento de agitação em torno de 40% da dimensão de sua largura da câmara. Assim sendo, seu diâmetro mínimo deverá situar-se em torno de 2,4 metros. Deverão ser adotados equipamentos de agitação com diâmetro de rotor igual a 2,5 m, distando 1,3 m a partir do fundo do floculador.

As unidades de floculação deverão ser dotadas de equipamentos de agitação, de forma a possibilitarem a variação de seus gradientes de velocidade de 80 s⁻¹ a 20 s⁻¹. As principais características do sistema de floculação estão apresentadas a seguir:

- Largura individual de cada câmara de floculação: 6,63 metros
- Comprimento individual de cada câmara de floculação: 6,47 metros
- Altura da lâmina d'água máxima na câmara de floculação: 3,94 metros

Cada câmara de floculação será provida de agitadores mecânicos do tipo turbina com dispositivo anti-vórtice. Em função das mudanças nas características das águas brutas torna-se necessário à alteração dos valores de gradientes médios de velocidade. O gradiente médio de velocidade variará de 80 s⁻¹ a 20 s⁻¹, sendo que a variação da rotação do agitador será conseguida por meio de inversor de frequência, que poderão ser automatizados.

3.1 CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SISTEMA DE AGITAÇÃO

$$P_{\text{útil}} = \mu * V_f * G^2 = 1,053 * 10^{-3} * 169,0 * 80^2 \cong 1.139,3 W$$

$$P_{\text{útil}} = \mu * V_f * G^2 = 1,053 * 10^{-3} * 169,0 * 20^2 \cong 71,2 W$$

3.2 CÁLCULO DA ROTAÇÃO DO SISTEMA DE AGITAÇÃO

Admitindo um valor de K_t igual a 1,3 (valor típico para sistemas de agitação do tipo turbina com eixo vertical e fluxo axial com palhetas inclinadas a 45°), têm-se os seguintes valores de rotação:

$$n_{\min} = \left(\frac{P_{\text{util}}}{K_t \cdot \rho \cdot D^5} \right)^{1/3} = \left(\frac{71,2}{1,3 \cdot 998,20 \cdot 2,5^5} \right)^{1/3} \cong 0,083 \text{ rps} = 4,95 \text{ rpm}$$

$$n_{\max} = \left(\frac{P_{\text{util}}}{K_t \cdot \rho \cdot D^5} \right)^{1/3} = \left(\frac{1.139,3}{1,3 \cdot 998,20 \cdot 2,5^5} \right)^{1/3} \cong 0,208 \text{ rps} = 12,5 \text{ rpm}$$

Será adotado, um variador e redutor que permita que sejam atingidos para cada sistema de agitação valores de rotação situados entre 4 rpm e 15 rpm.

3.3 CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SISTEMA DE AGITAÇÃO

$$PM = 2 \times P = 2 \times 1.140 = 2.280 \text{ W} \cong 3,0 \text{ cv}$$

Para uma eficiência de transferência de energia de 50% seria necessário motor de 2,28 Kw (3,0 cv). Deverá ser adotado um motor de 3,0 cv, com velocidade variável com inversor de frequência.

3.4 CARACTERÍSTICAS DO FLOCULADOR MECANIZADO A SER ADQUIRIDO

Recomenda-se que as unidades de floculação mecanizadas sejam dotadas de equipamentos tipo turbina com paletas inclinadas a 45° , potência do motor de 3,0 cv com inversor de frequência, diâmetro do rotor de 2,5 m, rotação de 4,0 rpm a 15 rpm, possibilitando gradientes de velocidade de 20 a 80 s⁻¹ em cada câmara de floculação.

A Figura 3.2 e a Figura 3.3 apresentam planta e corte das unidades de floculação modificadas.

Figura 3.2 – Vista superior das unidades de floculação da ETA Bolonha

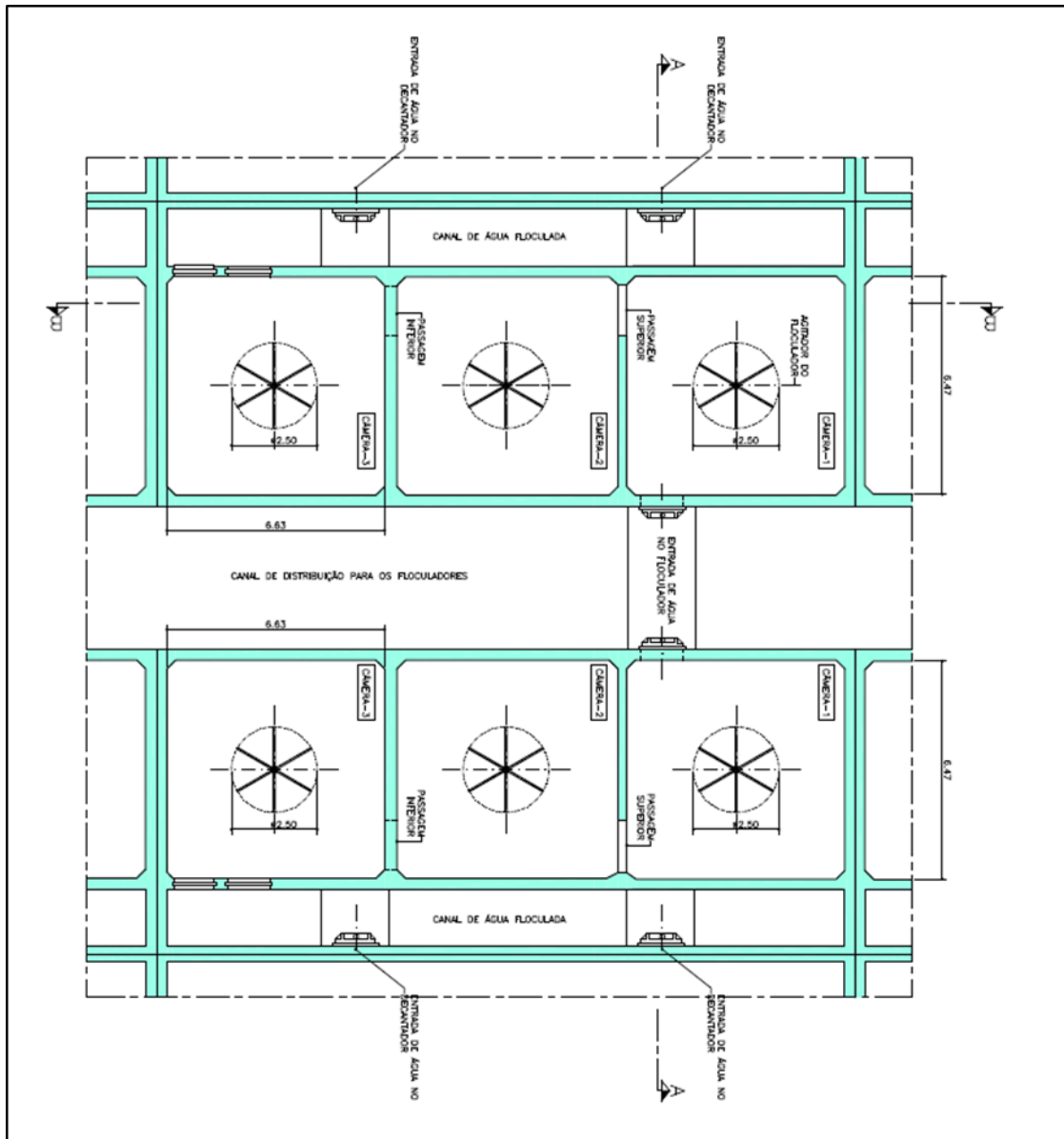
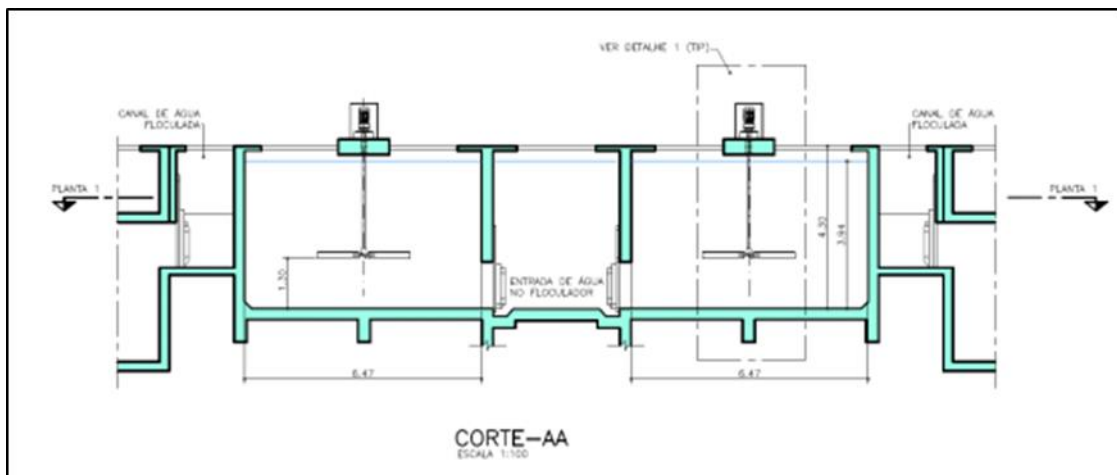


Figura 3.3 – Corte das unidades de floculação da ETA Bolonha.



A água coagulada será encaminhada para cada unidade de floculação por meio de um canal dotado de comportas individuais quadradas com dimensão igual a 1,2 metros, conforme indicado na Figura 3.2.

A água coagulada será descarregada diretamente em cada floclador em sua face inferior por meio de uma única comporta individual, sendo que as passagens entre as câmaras de floculação 1, 2 e 3 deverão ocorrer por meio de passagens de secção quadrada de dimensão igual a 1,5 metros. Por sua vez, a saída da água floclada da terceira câmara de floculação e que possibilitará o envio da água floclada a sua respectiva unidade de sedimentação deverá ocorrer por meio de duas comportas de secção quadrada com dimensão igual a 1,2 metros cada.

3.5 VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA FLOCULADA DE CADA FLOCULADOR

Os gradientes de velocidade podem ser calculados da seguinte forma:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot f \cdot V^3}{\mu \cdot D \cdot 2 \cdot g}}$$

O fator de atrito pode ser estimado pela expressão proposta por Colebrook e White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right]$$

A perda de carga em passagens pode ser calculada por meio da seguinte expressão:

$$Q = C_Q \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

$$\Delta H = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q}{C_Q \cdot A} \right)^2$$

Admitindo-se um coeficiente de vazão em torno de 0,6, pode-se proceder ao cálculo das perdas de carga em cada passagem do sistema de floculação e seu respectivo gradiente de velocidade, estando os resultados apresentados no Tabela 3.2, Tabela 3.3 e Tabela 3.4.

Tabela 3.2 - Gradientes de velocidade para a unidade de floculação operando com diferentes vazões afluentes – Entrada de água coagulada na primeira câmara de floculação

Cenário	Passagem	Vazão individual a ETA (L/s)	Vazão por comporta (L/s)	Velocidade em cada passagem (m/s)	Gradiente de velocidade(s-1)
Vazão máxima sem recirculação de água de lavagem dos	Comporta quadrada com 1,2 metros de largura	6.400	533,3	0,37	17,6
Vazão máxima com recirculação de água de	Comporta quadrada com 1,2 metros de	6.700	558,3	0,39	18,8

Tabela 3.3 - Gradientes de velocidade para a unidade de floculação operando com diferentes vazões afluentes – Passagem entre câmaras de floculação

Cenário	Passagem	Vazão individual a ETA (L/s)	Vazão por passagem (L/s)	Velocidade em cada passagem (m/s)	Gradiente de velocidade(s-1)
Vazão máxima sem recirculação de água de	Secção quadrada com 1,5 metros de	6.400	533,3	0,24	8,1
Vazão máxima com recirculação de água de	Secção quadrada com 1,5 metros de	6.700	558,3	0,25	8,6

Tabela 3.4 – Gradientes de velocidade para a unidade de floculação operando com diferentes vazões afluentes – Saída de água floculada da terceira câmara de floculação

Cenário	Passagem	Vazão individual a ETA (L/s)	Vazão por passagem (L/s)	Velocidade em cada passagem (m/s)	Gradiente de velocidade(s-1)
Vazão máxima sem recirculação de água de	2 comportas de secção quadrada com 1,2	6.400	266,7	0,12	3,0
Vazão máxima com recirculação de água de	2 comportas de secção quadrada com 1,2	6.700	279,2	0,12	3,2

Uma vez que todos os gradientes de velocidade situaram-se abaixo de 20 s-1 e as velocidades de água floculada entre as câmaras de floculação e em sua saída apresentaram valores inferiores a 0,2 m/s, pode-se considerar como plenamente adequado a condição das passagens entre câmaras de floculação, sem que haja necessidade de modificação.

A Tabela 3.5 e o Tabela 3.6 apresentam as grandezas hidráulicas calculadas para cada condição de vazão no sistema de floculação.

Tabela 3.5 – Tabela resumo das principais grandezas hidráulicas calculadas para o sistema de floculação considerando vazão de operação para a ETA Bolonha igual a 6.400 L/s

Dimensões Adotadas	
Largura de cada câmara de floculação (m) =	6,63
Comprimento de cada câmara de floculação (m) =	6,47
Volume unitário de cada câmara de floculação (m³)=	169,01
Volume do sistema de floculação (m³)=	507,03
Tempo de detenção hidráulico (min) =	15,85
Tempo de detenção hidráulico em cada câmara de floculação (min) =	5,28
Potência máxima dos equipamentos de agitação (N.m/s)=	1139,28
Potência mínima dos equipamentos de agitação (N.m/s)=	71,21

Rotação máxima (rps)=	0,208
Rotação mínima (rps)=	0,083
Rotação máxima (rpm)=	12,47
Rotação mínima (rpm)=	4,95
Potência do motor adotado (cv)=	3,04

Dimensões sugeridas para o posicionamento dos equipamentos de floculação

Largura de cada câmara de floculação (m) =	6,63
Comprimento de cada câmara de floculação (m) =	6,47
Volume unitário de cada câmara de floculação (m ³)=	169,01
Volume do sistema de floculação (m ³)=	507,03
Tempo de detenção hidráulico (min) =	15,85
Tempo de detenção hidráulico em cada câmara de floculação (min) =	5,28
Potência máxima dos equipamentos de agitação (N.m/s)=	1139,28
Potência mínima dos equipamentos de agitação (N.m/s)=	71,21
Rotação máxima (rps)=	0,208
Rotação mínima (rps)=	0,083
Rotação máxima (rpm)=	12,47
Rotação mínima (rpm)=	4,95
Potência do motor adotado (cv)=	3,04

Dimensões sugeridas para o posicionamento dos equipamentos de floculação

Largura do floculador e diâmetro do rotor	Entre 2,0 e 6,6
Profundidade do floculador e diâmetro do rotor	Entre 2,7 e 3,9
Distância do rotor em relação ao fundo e diâmetro do rotor	Entre 0,9 e 1,1
Relação Lf/Dr=	2,65
Relação Pf/Dr=	1,58
Relação hf/Dr=	0,60

Dimensões adotadas para as passagens inferiores e superiores

Altura (m) =	1,50
Largura (m) =	1,50
Velocidade (m/s) =	0,248
Perda de carga localizada em cada passagem (m) =	0,0080

Tabela 3.6 – Tabela resumo das principais grandezas hidráulicas calculadas para o sistema de floculação considerando vazão de operação para a ETA Bolonha igual a 6.700 L/s

Dimensões Adotadas	
Largura de cada câmara de floculação (m)=	6,63
Comprimento de cada câmara de floculação (m)=	6,47
Volume unitário de cada câmara de floculação (m³)=	169,01
Volume do sistema de floculação (m³)=	507,03
Tempo de detenção hidráulico (min)=	15,14
Tempo de detenção hidráulico em cada câmara de floculação (min)=	5,05
Potência máxima dos equipamentos de agitação (N.m/s)=	1139,28
Potência mínima dos equipamentos de agitação (N.m/s)=	71,21
Rotação máxima (rps)=	0,208
Rotação mínima (rps)=	0,083
Rotação máxima (rpm)=	12,47
Rotação mínima (rpm)=	4,95
Potência do motor adotado (cv)=	3,04
Dimensões sugeridas para o posicionamento dos equipamentos de floculação	
Largura do floculador e diâmetro do rotor	Entre 2,0 e 6,6
Profundidade do floculador e diâmetro do rotor	Entre 2,7 e 3,9
Distância do rotor em relação ao fundo e diâmetro do rotor	Entre 0,9 e 1,1
Relação Lf/Dr=	2,65
Relação Pf/Dr=	1,58
Relação hf/Dr=	0,60
Dimensões adotadas para as passagens inferiores e superiores	
Altura (m)=	1,50
Largura (m)=	1,50
Velocidade (m/s)=	0,248
Perda de carga localizada em cada passagem (m)=	0,0087



INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO

4 INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO

Conforme exposto anteriormente, o Sistema Produtor Bolonha possui um total de 12 unidades de sedimentação, sendo que 6 unidades pertencem a primeira etapa e 6 unidades pertencem a segunda etapa.

Os decantadores implantados em primeira etapa são de fluxo horizontal dotados de uma laje horizontal disposta ao longo de sua área superficial, conforme apresentado na Figura 4.1 e na Figura 4.2.

Figura 4.1 – Vista geral dos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha - Decantadores convencionais de fluxo horizontal



**Figura 4.2 – Vista geral dos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha -
Decantadores convencionais de fluxo horizontal**



Como os decantadores implantados em primeira etapa não apresentavam rendimento satisfatório, o projeto de ampliação da ETA Bolonha adotou a sua transformação em decantadores de alta taxa, mantendo-se as mesmas dimensões.

Tendo em vista facilitar os aspectos construtivos com relação a implantação dos elementos de sedimentação laminar, o projeto adotou elementos planos do tipo lona dispostos ao longo de sua área de sedimentação. A Figura 4.3 e a Figura 4.4 apresentam uma vista dos decantadores implantados em segunda etapa.

**Figura 4.3 – Vista geral dos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha -
Decantadores de alta taxa**



**Figura 4.4 – Vista geral dos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha -
Decantadores de alta taxa**



As principais intervenções previstas nos decantadores da ETA Bolonha deverão ser as seguintes:

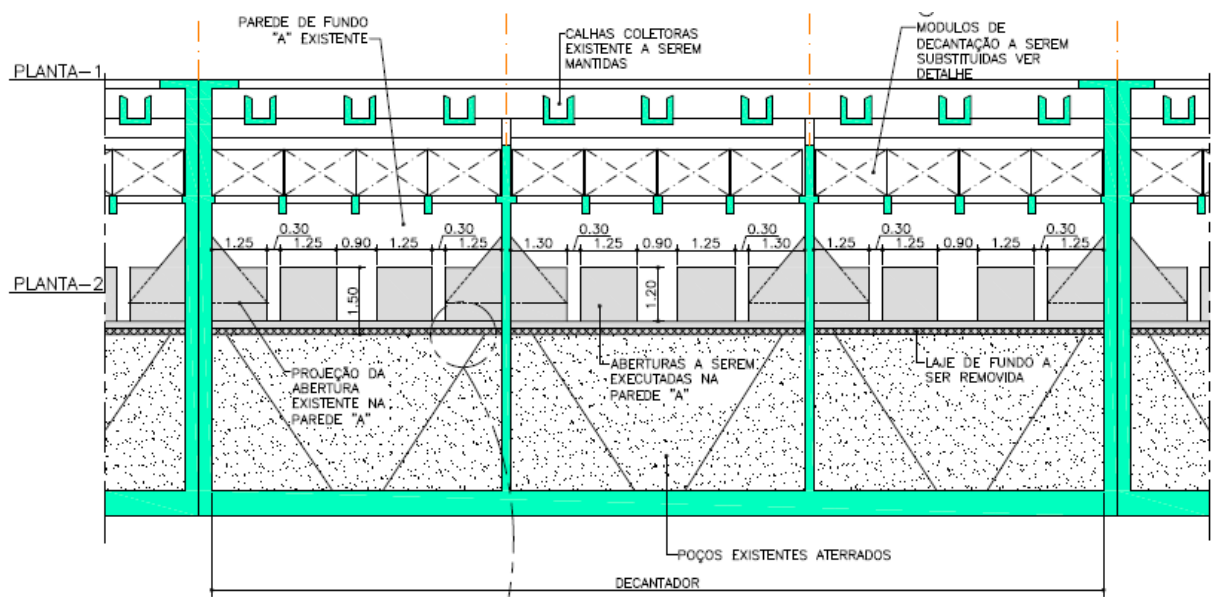
- Revitalização e modernização das unidades de sedimentação em operação na etapa 1 mediante a sua transformação de decantadores convencionais de fluxo horizontal para decantadores de alta taxa. Para que sua performance não seja afetada pelo acúmulo de lodo nos decantadores, deverão ser implantados equipamentos de remoção de lodo de renomada competência.
- Como os sistemas de remoção de lodo dos decantadores da segunda etapa encontram-se inoperantes, os mesmos deverão ser substituídos pelos equipamentos a serem adotados nos decantadores da primeira etapa.
- Substituição das lonas atualmente em operação nos decantadores da segunda etapa por módulos de sedimentação laminar do tipo colmeia. Da mesma forma, estes mesmos elementos devem ser utilizados também na revitalização e modernização dos decantadores da primeira etapa.
- Readequação dos dispositivos de descarga de lodo dos decantadores e sua compatibilização com o projeto da unidade de tratamento de resíduos.

O projeto original dos decantadores da etapa 2 foi efetuado prevendo-se um sistema de distribuição de água floculada composto por um total de seis canais de seção triangular dispostos longitudinalmente na unidade. A partir destes mesmos canais é também efetuado a descarga da unidade por meio de uma descarga de fundo de 400 mm.

Do ponto de vista operacional, tem-se reportado um elevado acúmulo de sólidos ao longo dos dutos de distribuição de água floculada, seja pela deposição de sólidos presentes na água decantada, seja durante a operação de descarregamento dos decantadores.

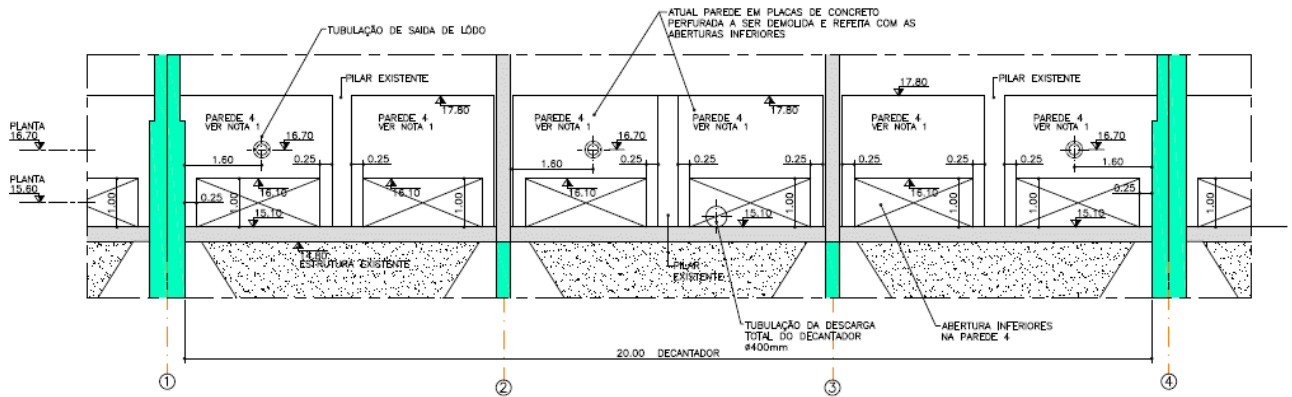
Em face do exposto, decidiu-se pela eliminação do sistema de distribuição de água floculada, tendo-se previsto a sua distribuição em cada decantador por meio de 12 aberturas inferiores com 1,25 metros de largura por 1,20 metros de altura cada implantadas diretamente no canal de distribuição de água floculada. Portanto, a área útil prevista para a entrada e distribuição da água floculada em cada unidade de sedimentação da etapa 1 deverá ser igual a 18,0 m² (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Corte do decantador da segunda etapa da ETA Bolonha – Sistema de distribuição de água floculada



O mesmo conceito adotado nos decantadores da etapa 2 também será utilizado na reforma dos decantadores da etapa 1. Devido a razões construtivas das estruturas, cada decantador da etapa 1 apresentará um conjunto de 6 aberturas inferiores com 2,5 metros de largura por 1,0 metros de altura cada implantadas diretamente no canal de distribuição de água floculada. Desta forma, a área útil prevista para a entrada e distribuição da água floculada em cada unidade de sedimentação da etapa 2 deverá ser igual a 15,0 m² (Figura 4.6).

Figura 4.6 – Corte do decantador da primeira etapa da ETA Bolonha – Sistema de distribuição de água floculada



Admitindo uma vazão afluyente nominal e máxima igual a 6,4 m³/s e 6,7 m³/s à ETA Bolonha e assumindo uma divisão equitativa de vazões entre ambas primeira e segunda etapa, tem-se que as vazões afluentes aos decantadores da primeira etapa deverão ser iguais a 3,2 m³/s e 3,35 m³/s.

Admitindo uma divisão equitativa de vazões entre os decantadores da primeira etapa, cada unidade deverá trabalhar com vazões iguais a 533 L/s e 558 L/s. Em caso de parada de uma unidade para fins de manutenção, mantida constante a vazão afluyente a ETA Bolonha, as novas vazões afluentes aos decantadores de primeira etapa deverão ser iguais a 640 L/s e 670 L/s. Desta forma, as vazões afluentes a cada unidade de sedimentação poderão variar de 533 L/s a 670 L/s.

Uma vez que a área útil das aberturas para a distribuição da água floculada aos decantadores da primeira e segunda etapa são iguais 15 m² e 18 m², respectivamente, podem ser verificadas as suas velocidades de entrada, conforme se segue:

$$v_{\min 1} = \frac{0,533 \frac{m^3}{s}}{15 m^2} \cong 0,036 \frac{m}{s}$$

$$v_{\max 1} = \frac{0,670 \frac{m^3}{s}}{15 m^2} \cong 0,045 \frac{m}{s}$$

$$v_{\min 1} = \frac{0,533 \frac{m^3}{s}}{18 m^2} \cong 0,030 \frac{m}{s}$$

$$v_{\max 1} = \frac{0,670 \frac{m^3}{s}}{18 m^2} \cong 0,037 \frac{m}{s}$$

Uma vez que as velocidades resultam inferiores a 0,1 m/s, garante-se condições plenamente adequadas para preservar a integridade dos flocos formados durante o processo de floculação e evitando-se a sua quebra no seu sistema de distribuição às unidades de sedimentação.

Cada decantador da ETA Bolonha possui dimensões iguais a 20,0 metros de largura por 27,0 metros de comprimento e 5,17 metros de altura, perfazendo uma área superficial igual a 540 m² cada. O comprimento dos decantadores laminares da etapa 2 coberto com módulos de sedimentação laminar é igual a 25,2 m², o que faz com que a área útil de sedimentação laminar seja igual a 504 m² cada.

A readequação das unidades de sedimentação de ambas as etapas 1 e 2 deverá ser efetuado adotando-se as seguintes premissas:

- Velocidade de escoamento entre os dutos de sedimentação laminar menor do que 15,0 cm/min
- Dutos de sedimentação laminar com comprimento igual a 1,2 metros
- Ângulo das placas com a horizontal: 60°
- Espessura dos dutos em torno de 5,0 cm

Assim, prevê-se que as atuais lonas instaladas dos decantadores da etapa 2 sejam retiradas e substituídas por dutos de sedimentação laminar com as características acima citadas.

Por sua vez, os decantadores da etapa 1 deverão ser revitalizados e modernizados de modo que estes tenham idêntica concepção aos decantadores revitalizados e modernizados da etapa 2.

Para as vazões de projeto consideradas e assumindo que aproximadamente 20% da área superficial do decantador seja ocupado pelos dutos de sedimentação laminar, podem ser calculadas as seguintes grandezas características de unidades de sedimentação laminar, a saber (Tabela 4.1):

$$L = \frac{l}{w}$$

- L= dimensão característica dos módulos de escoamento laminar
- l= comprimento do módulo de escoamento laminar em cm
- w= espaçamento entre os módulos de escoamento laminar em cm

$$V_0 = \frac{Q}{A_0} = \frac{Q}{A_p \cdot \sin \theta}$$

- V0= velocidade de escoamento entre as placas em m/s
- Q= vazão da unidade em m³/s
- θ = ângulo dos módulos em relação ao plano horizontal
- A0= área de escoamento no sentido do fluxo entre os módulos de escoamento laminar em m²

Tabela 4.1 – Valores de velocidade de escoamento entre as placas para a unidade de sedimentação operando com diferentes vazões afluentes

Cenário	Condição	Vazão individual a ETA Bolonha (L/s)	Grandeza l/w	Velocidade de escoamento entre os dutos (cm/min)
1	Vazão máxima sem recirculação de água de lavagem dos filtros	6.400	24	9,2
2	Vazão máxima com recirculação de água de lavagem dos filtros	6.700	24	9,6

As velocidades de escoamento entre os módulos de escoamento laminar são bastante adequadas e estão situadas abaixo de 10,0 cm/min. Considerando que os valores usualmente empregados em projeto de decantadores laminares situam-se entre 15 cm/min a 20 cm/min, conclui-se que as unidades a serem implantadas na ETA Bolonha deverão operar de forma adequada e, desta forma, plenamente seguras com respeito a produção de água decantada com reduzidos valores de turbidez.

Uma vez que os decantadores da ETA Bolonha deverão estar subdimensionados, tem-se que os mesmos deverão compensar os reduzidos valores de tempos de detenção hidráulico observados nas unidades de floculação.

A velocidade crítica de sedimentação das partículas coloidais pode ser estimada com o uso da seguinte expressão:

$$V_s = \frac{V_0}{(L \cdot \cos \theta + \text{sen} \theta)}$$

Para as velocidades de escoamento entre os módulos tubulares supracitados e assumindo que o ângulo das placas com o plano horizontal deverá ser de 60°, tem-se os seguintes valores de velocidade crítica de sedimentação (Tabela 4.2):

Tabela 4.2 – Valores de velocidade crítica de sedimentação para a unidade de sedimentação operando com diferentes vazões afluentes

Cenário	Condição	Grandeza l/w (L)	Velocidade de escoamento entre as placas (cm/min)	Velocidade crítica de sedimentação (cm/min)
1	Vazão máxima sem recirculação de água de lavagem dos filtros	24	9,2	0,72
2	Vazão máxima com recirculação de água de lavagem dos filtros	24	9,6	0,75

Os valores de velocidade crítica de sedimentação estão situados entre 10,3 m/dia a 10,7 m/dia, sendo que estes podem ser considerados como plenamente adequados para processos de tratamento de água dotados de uma eficiente operação de seus processos de coagulação e floculação.

Desta forma, uma vez garantindo-se uma operação adequada de ambos os processos unitários de montante (etapas de coagulação e floculação), deverá ser plenamente possível garantir que a maior parte dos flocos formados apresente valores de velocidades de sedimentação superiores a 15 m/dia.

A coleta de água decantada dos decantadores da primeira etapa deverá ser efetuada por meio de nove calhas com dimensões unitárias iguais a 40 cm de largura e 40 cm de altura. Cada calha deverá apresentar comprimento igual a 25 metros. Admitindo uma vazão afluyente nominal e máxima igual a 6,4 m³/s e 6,7 m³/s à ETA Bolonha e assumindo uma divisão equitativa de vazões

entre ambas primeira e segunda etapa, tem-se que as vazões afluentes aos decantadores da primeira etapa deverão ser iguais a 3,2 m³/s e 3,35 m³/s. Admitindo uma divisão equitativa de vazões entre os decantadores da primeira etapa, cada unidade deverá trabalhar com vazões iguais a 533 L/s e 558 L/s.

Em caso de parada de uma unidade para fins de manutenção, mantida constante a vazão afluente a ETA Bolonha, as novas vazões afluentes aos decantadores de primeira etapa deverão ser iguais a 640 L/s e 670 L/s. Desta forma, as vazões críticas a cada unidade de sedimentação deverão ser iguais a 640 L/s e 670 L/s. Como cada decantador deverá apresentar nove calhas de coleta de água decantada com 25 metros de comprimento cada, a taxa de escoamento linear deverá ser igual a:

$$q_{L1} = \frac{640 \frac{L}{s}}{9.25,0 \text{ m} \cdot 2} \cong 1,42 \frac{L}{s \cdot m}$$

$$q_{L2} = \frac{670 \frac{L}{s}}{9.25,0 \text{ m} \cdot 2} \cong 1,49 \frac{L}{s \cdot m}$$

Uma vez que os valores de taxa de escoamento linear resultam inferior a 2,5 L/s.m, tem-se que as mesmas estão dimensionadas de forma adequada.

Todas as calhas de coleta de água decantada deverão ser dotadas de vertedores triangulares ajustáveis cm largura individual total e útil igual a 15 cm e 12 cm, respectivamente. Uma vez que o comprimento total das calhas de coleta de água decantada por decantador deverá ser Igual a 450 metros, tem-se que cada unidade deverá ser dotada de um total de 3.000 vertedores triangulares. Logo, a vazão individual de cada vertedor triangular deverá ser igual a:

$$Q_{v1} = \frac{640 \frac{L}{s}}{3.000} \cong 0,21 \frac{L}{s}$$

$$Q_{v2} = \frac{670 \frac{L}{s}}{3.000} \cong 0,22 \frac{L}{s}$$

A carga hidráulica em cada vertedor triangular pode ser estimada por meio da seguinte equação:

$$h_{min} = \left(\frac{Q}{1,46} \right)^{2/5} = \left(\frac{0,21 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{1,46} \right)^{2/5} \cong 2,9 \text{ cm}$$

$$h_{m\acute{a}x} = \left(\frac{Q}{1,46} \right)^{2/5} = \left(\frac{0,22 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{1,46} \right)^{2/5} \cong 3,0 \text{ cm}$$

Uma vez que a altura total disponível de cada vertedor triangular é igual a 6,0 cm e a altura dos níveis d'água máximos resultam inferiores a este valor, tem-se que o dimensionamento está adequado.

Como cada decantador apresenta um total de nove calhas de coleta de água decantada, as suas vazões máximas deverão ser iguais a 71,1 L/s e 74,4 L/s. Cada calha deverá apresentar 40 cm de largura por 40 cm de altura. O nível d'água máximo em cada calha pode ser estimado por meio da seguinte expressão:

$$h_{c1} = \left[\left(\frac{Q}{b} \right)^2 \cdot \frac{1}{g} \right]^{1/3} = \left[\left(\frac{0,0711 \frac{m^3}{s}}{0,4 \text{ m}} \right)^2 \cdot \frac{1}{9,81 \frac{m}{s^2}} \right]^{1/3} \cong 0,148 \text{ m}$$

$$h_{c2} = \left[\left(\frac{Q}{b} \right)^2 \cdot \frac{1}{g} \right]^{1/3} = \left[\left(\frac{0,0744 \frac{m^3}{s}}{0,4 \text{ m}} \right)^2 \cdot \frac{1}{9,81 \frac{m}{s^2}} \right]^{1/3} \cong 0,152 \text{ m}$$

Os valores de altura do nível d'água máximo nas calhas de coleta de água decantada podem ser estimados da seguinte forma:

$$h_{01} = \sqrt{h_c^2 + \frac{2 \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_c}} = \sqrt{(0,148 \text{ m})^2 + \frac{2 \cdot \left(0,0711 \frac{m^3}{s}\right)^2}{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (0,4 \text{ m})^2 \cdot 0,148 \text{ m}}} \cong 0,26 \text{ m}$$

$$h_{02} = \sqrt{h_c^2 + \frac{2 \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_c}} = \sqrt{(0,152 \text{ m})^2 + \frac{2 \cdot \left(0,0744 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,4 \text{ m})^2 \cdot 0,152 \text{ m}}} \cong 0,26 \text{ m}$$

Como a altura máxima resulta inferior a 40 cm, tem-se que o dimensionamento das calhas de coleta de água decantada está adequado.

Com respeito aos decantadores da segunda etapa, prevê-se que as lonas de sedimentação de alta taxa deverão ser retiradas e substituídas por dutos de sedimentação laminar, além da troca dos equipamentos de remoção de lodo, uma vez que os mesmos se encontram desativados.

Além disso, deverão ser modificados o seu sistema de descarregamento de lodo de modo a adequar o funcionamento das unidades de tratamento da fase líquida em relação ao sistema de tratamento da fase sólida. As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam cortes dos decantadores de alta taxa da segunda etapa a serem reformados.

Figura 4.7 – Decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha – Troca do sistema de escoamento laminar de lonas planas por dutos de sedimentação laminar

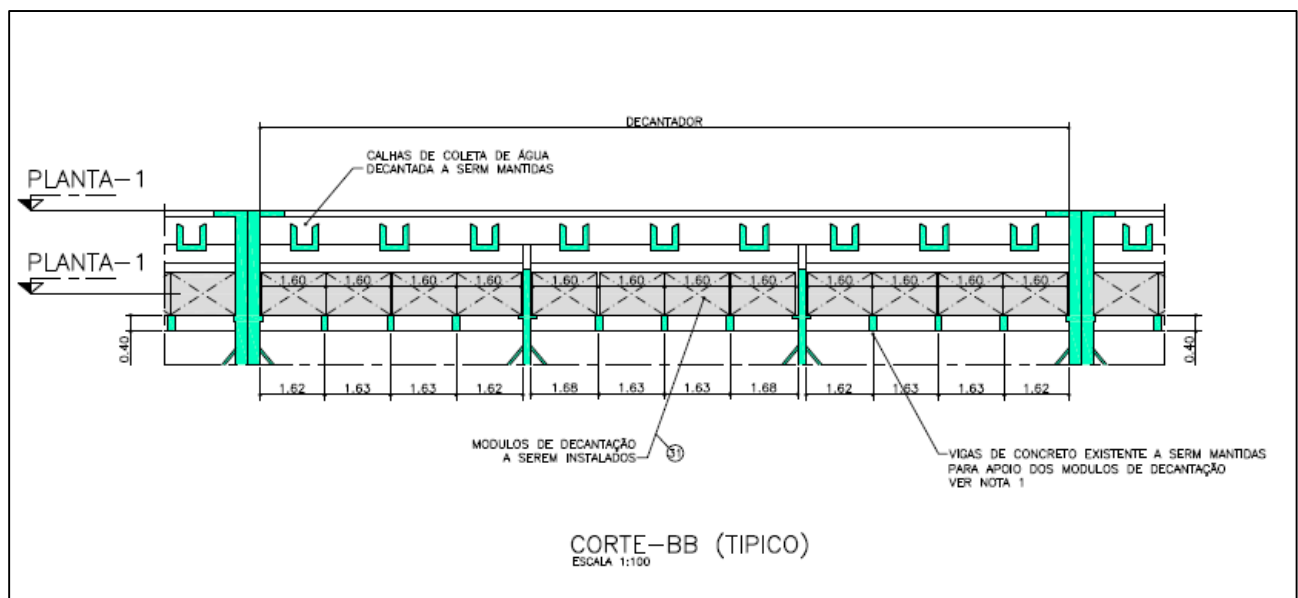
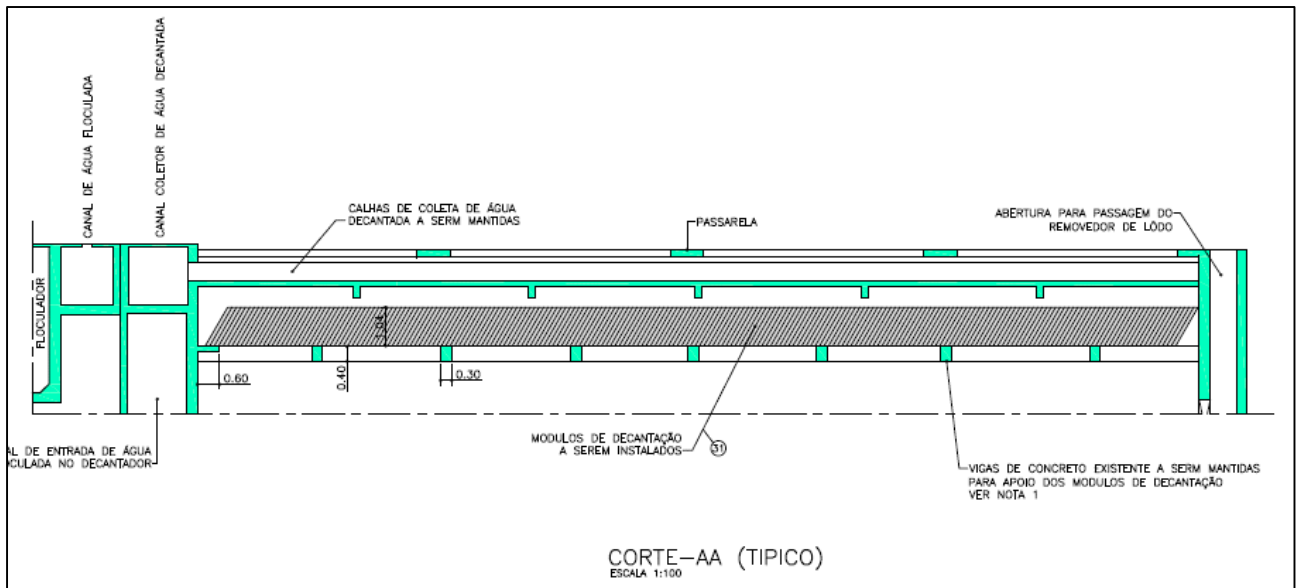


Figura 4.8 – Decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha – Troca do sistema de escoamento laminar de lonas planas por dutos de sedimentação laminar



As obras de readequação dos decantadores da primeira etapa deverão ser mais severas, sendo que se prevê a retirada de sua laje intermediária, execução de fundo plano prevendo-se o reaterro dos poços existentes, instalação de novos equipamentos de remoção de lodo e adequação de seu sistema de descargas. Assim sendo, os decantadores da primeira etapa deverão apresentar a seguinte configuração de obras apresentada na Figura 4.9 e Figura 4.10.

Figura 4.9 – Decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha – Troca do sistema de escoamento laminar de lonas planas por dutos de sedimentação laminar e readequação do fundo

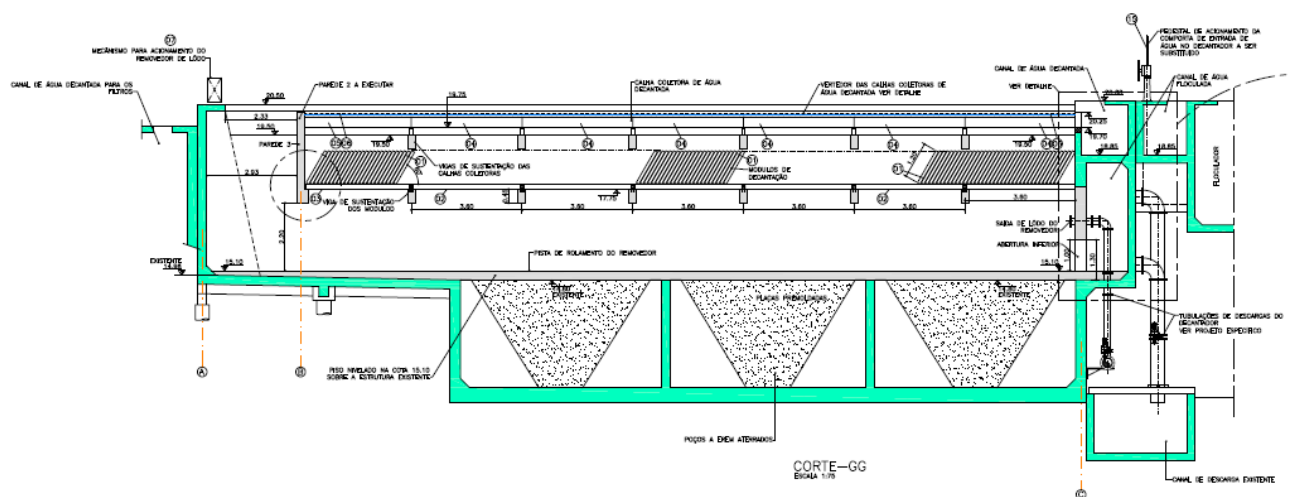
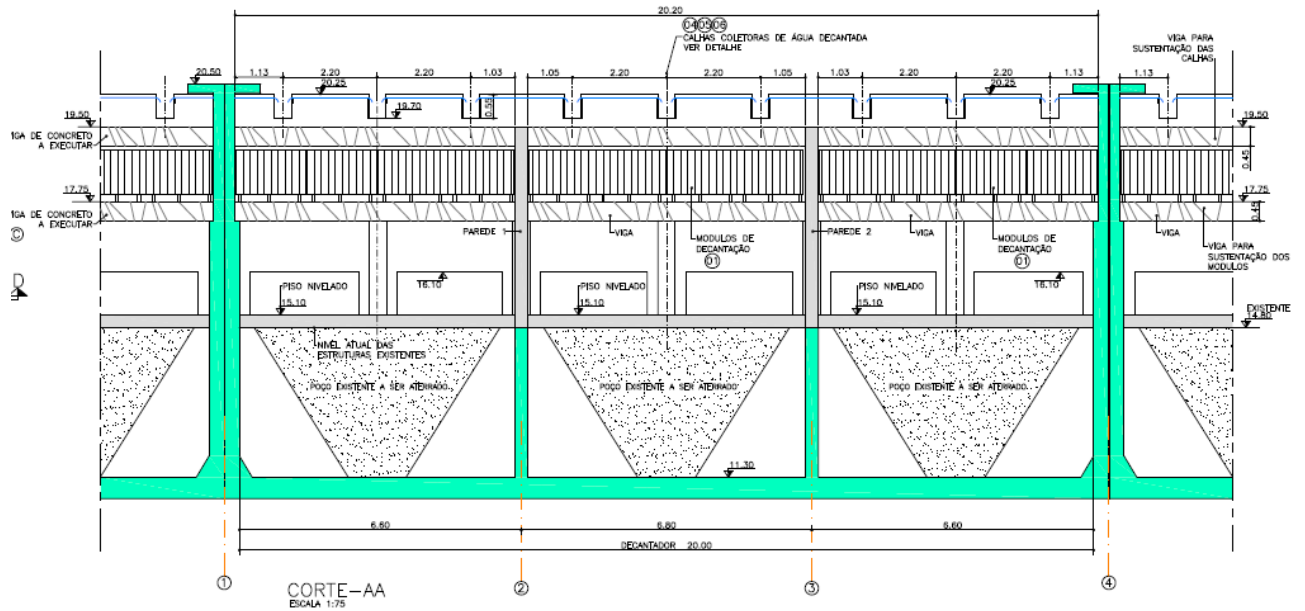
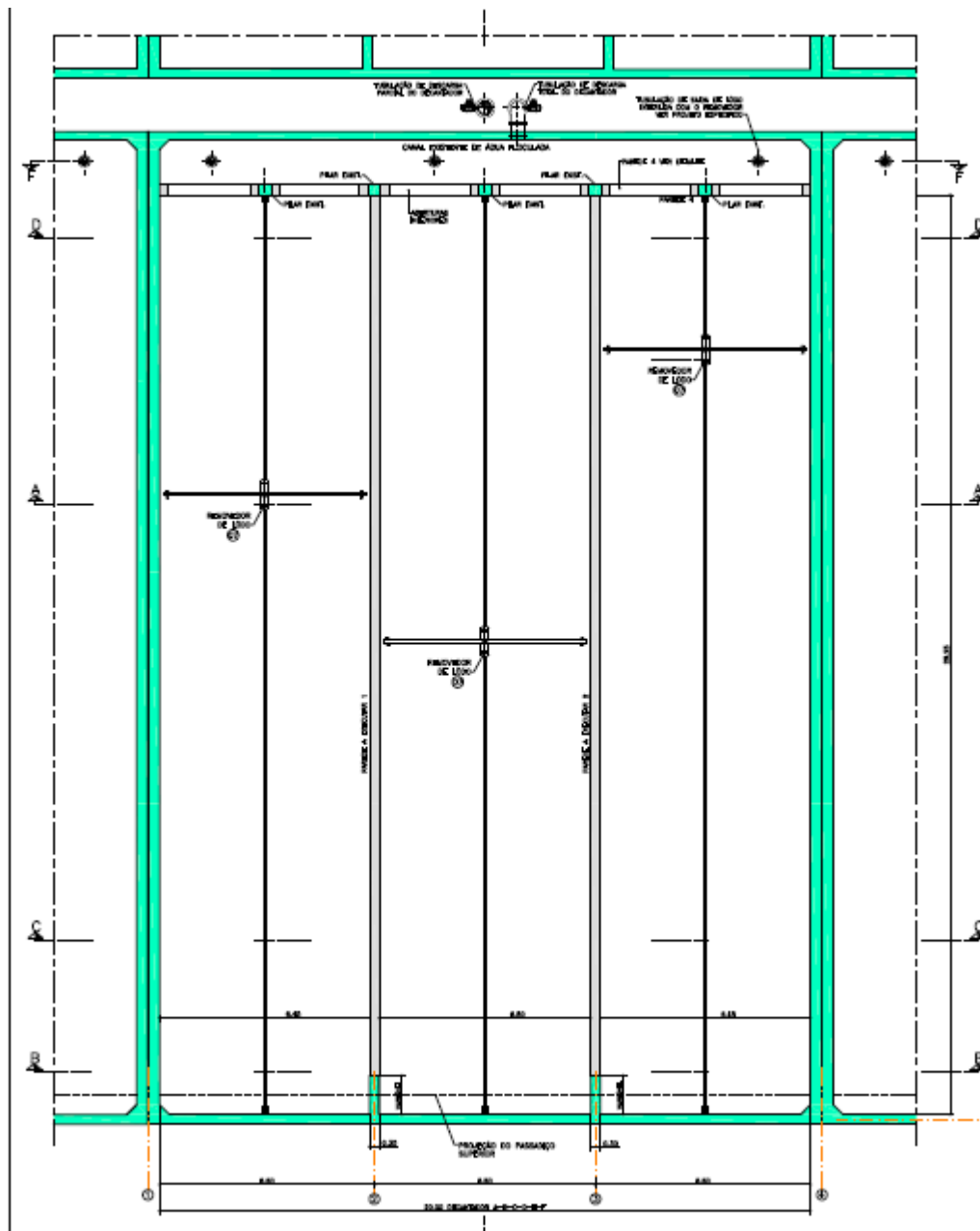


Figura 4.10 – Decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha – Troca do sistema de escoamento laminar de lonas planas por dutos de sedimentação laminar e readequação do fundo



Ambos os decantadores deverão ser dotados de novos equipamentos para remoção de lodo, sendo que se prevê um total de três equipamentos por decantador. Cada equipamento deverá apresentar 6,4 metros de largura por 29,0 metros de comprimento conforme apresentado na Figura 4.11.

Figura 4.11 – Sistema de remoção de lodo a ser implantado nos decantadores da primeira e segunda etapa da ETA Bolonha



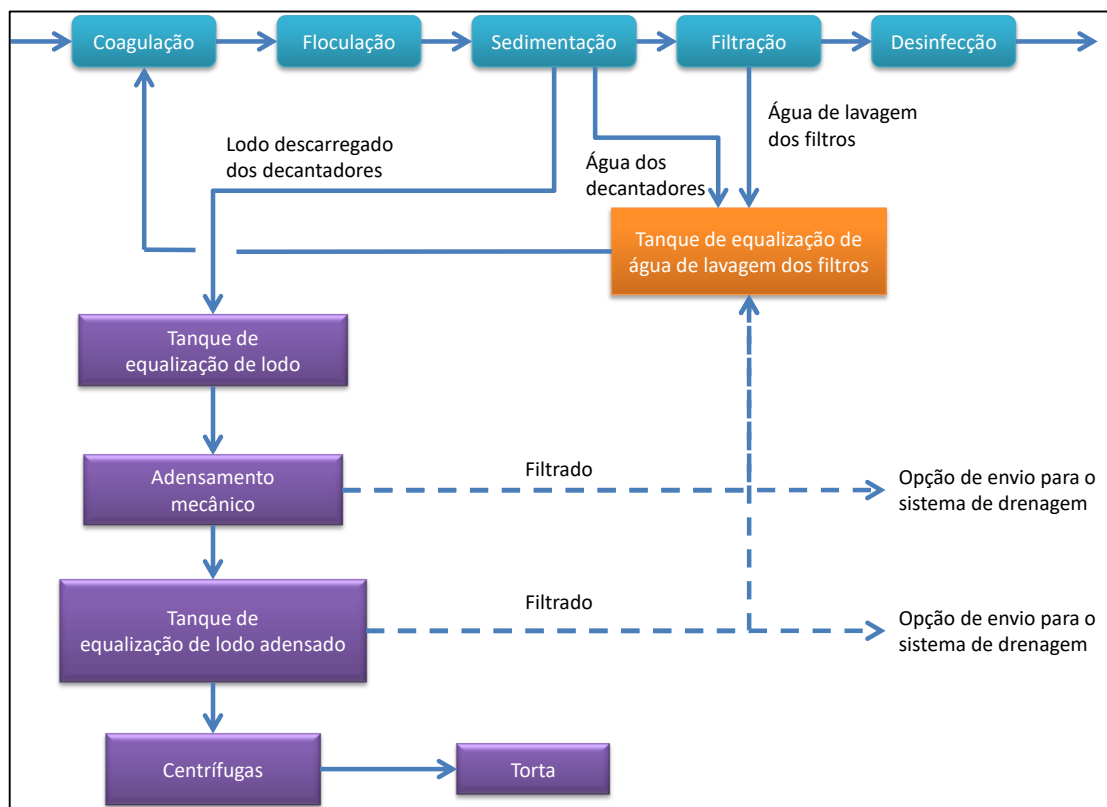
Um aspecto de grande relevância deverá ser a readequação do sistema de descarga de lodo dos decantadores considerando o modo de operação da unidade de tratamento de resíduos.

O projeto concebido para o tratamento da fase sólida gerado no Sistema Produtor Bolonha considerou que as principais linhas de resíduos a serem contempladas seriam as seguintes:

- Água de lavagem dos filtros
- Lodo produzido nas unidades de sedimentação

A Figura 4.12 apresenta um fluxograma com as principais partes constitutivas do sistema de tratamento da fase sólida proposta para o Sistema Produtor Bolonha.

Figura 4.12 – Fluxograma do sistema de tratamento da fase sólida proposto para o Sistema Produtor Bolonha



Desta forma, tem-se que a água de lavagem de todas as unidades de filtração do Sistema Produtor Bolonha deverá ser encaminhada a um tanque de equalização e, a partir deste, a sua vazão regularizada deverá ser enviada ao início do processo de tratamento. Neste caso, o retorno da água de lavagem deverá ser enviado diretamente a adutora de água bruta e a montante do ponto de aplicação de coagulante. A vazão de retorno de água de lavagem deverá ser igual a 300 L/s.

Todos os decantadores da ETA Bolonha deverão ser dotados de sistemas de remoção semi-contínua de lodo e, assim sendo, este também deverá ser enviado a um tanque de equalização de lodo bruto, de modo que este possa alimentar ao sistema de adensamento e desidratação.

O fluxo de lodo através dos removedores deverá funcionar conforme a atuação das válvulas controladas pelo equipamento fornecido pelo próprio fabricante do removedor a ser instalado, o qual por meio eletrônico deverá monitorar o tempo de abertura das válvulas,

deslocamento da varredura de fundo, os tempos de parada, o sentido do deslocamento e outras ações que sejam necessárias.

A abertura da válvula da descarga permite que se estabeleça um fluxo que depende da carga hidráulica no equipamento, que tem descarga livre para as tubulações que conduzem o efluente para a UTR, ou seja, o nível de água no decantador exerce pressão suficiente para o lodo se deslocar dentro das tubulações. Assim, a abertura da válvula é controlada para uma vazão pré-estabelecida e ajustável.

As maiores perdas de carga estarão concentradas nos orifícios dos coletores dos removedores e na tubulação flexível que leva o efluente até as tubulações fixas de saída do decantador, enquanto as perdas de carga nas tubulações fixas serão mínimas.

A vazão de saída deve estar na ordem de 2.004 m³/d que deve sair à razão de 10 min a cada hora, dividida em 36 saídas, cada uma com saídas semi-contínuas de 3,87 L/s.

Sendo a velocidade de saída de 1,37 m/s na tubulação de 60 mm, a perda unitária deveria ser de aproximadamente 0,034 que com comprimento de 25m dá uma perda total de 0,86 mca ao qual devem se acrescentar perdas pontuais estimadas em $K \times V^2/2g \sim 0,47\text{mca}$, bastante abaixo da carga disponível no tanque de decantação, com descarga livre.

Na saída pela tubulação de 200 mm, a queda será livre e na tubulação de 300 mm o escoamento é por conduto livre que dificilmente chegará a encher a tubulação se forem feitas descargas simultâneas, as quais podem, eventualmente, ocorrer.

As tubulações de 200 mm são iguais às existentes nos decantadores de segunda etapa e as de 300 mm foram escolhidas para coletar várias descargas simultâneas sem correr riscos de obstrução.

A linha de 300 mm terá escoamento em conduto livre, portanto, para uma vazão que considere 6 removedores, ou dois decantadores simultaneamente saindo pelos removedores, terá vazão de 23,2 l/s, o que leva a uma necessidade de declividade superior a 0,0007 para se ter uma altura relativa y/D de 75% da linha de 300mm. Se for declividade de 0,002, o y/d será de 50%, portanto, com a declividade do canal existente está assegurado o fluxo. Mesmo com linha cheia, o fluxo chegará à UTR em condições de fluxo adequado.

Tendo em vista o porte do Sistema Produtor Bolonha, optou-se pela implantação de um sistema clássico de tratamento do lodo oriundo dos decantadores, compreendendo a adoção de sistemas de adensamento e desidratação. Em função das distintas características dos lodos oriundos da água de lavagem dos filtros e dos decantadores, estes deverão ser segregados de modo que possam ser tratados de forma adequada.

Atualmente, todos os resíduos oriundos da lavagem das unidades de filtração, bem como da descarga dos decantadores são enviados para um canal comum existente e encaminhados para o corpo receptor. (vide Figura 4.13).

Figura 4.13 – Vista geral do canal comum de recebimento de água de lavagem dos filtros e descarga de lodo dos decantadores



Uma vez que ambos os resíduos deverão ser segregados, o canal existente deverá futuramente receber a água de lavagem dos filtros e eventualmente da lavagem de algum decantador e encaminhá-la para um tanque de equalização para posterior retorno ao início do processo de tratamento.

O lodo descarregado dos decantadores por meio de seus sistemas de remoção de lodo deverão ser reunidos em um barrilete comum e encaminhados em conduto forçado até o seu tanque de equalização de lodo bruto para posterior encaminhamento ao seu sistema de adensamento e desidratação.

Prevê-se a implantação de uma tubulação de coleta de lodo individual para os decantadores da primeira etapa e mais uma tubulação independente para os decantadores da segunda etapa, conforme apresentado na Figura 4.14.

Figura 4.14 – Vista geral do canal comum de recebimento de água de lavagem dos filtros e descarga de lodo dos decantadores



Como cada decantador deverá ser dotado de três equipamentos de remoção de lodo e cada etapa de implantação da ETA Bolonha possui um total de seis decantadores, tem-se um total de 18 descargas previstas por tubulação de condução de lodo.

De forma a garantir que não haja um desbalanceamento das vazões de lodo descarregadas por decantador e por equipamento de remoção de lodo, o controle de suas descargas deverão ser individuais por equipamento e devidamente controladas por temporizador de forma que as mesmas sejam espaçadas entre si e sem conflito entre as mesmas.

Via de regra, os sistemas de remoção de lodo do tipo semi-contínuo apresentam tubulações de descarga de lodo com diâmetros em torno de 50 mm a 75 mm, sendo este definido pelo fornecedor do equipamento. Com base no balanço de massa efetuado para a ETA Bolonha, tem-se que a vazão de lodo a ser descarregado diariamente deverá ser igual a 2.004 m³/dia.

Se for assumido que o tempo de descarga ocorra em torno de 10 minutos a cada 60 minutos, a vazão de descarte deverá ser igual a:

$$Q_{desc} = \frac{2.004 \text{ m}^3 / \text{dia}}{10 \text{ min} \cdot 24 \text{ h}} \cong 8,35 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Uma vez que a ETA Bolonha possui um total de 12 decantadores e cada decantador deverá ser dotado de 3 removedores de lodo, a vazão estimada por cada removedor deverá ser igual a:

$$Q_{ind} = \frac{8,35 \text{ m}^3 / \text{min}}{12 \text{ dec.} \cdot 3 \text{ rem/dec}} \cong 0,232 \text{ m}^3 / \text{min} \text{ (3,87 L/s)}$$

Para esta vazão de lodo instantânea por cada equipamento de remoção de lodo (3,87 L/s), se for adotado um diâmetro para a tubulação de coleta de lodo igual a 60 mm conforme definido anteriormente, tem-se que a sua velocidade deverá ser igual a 1,37 m/s, sendo esta bastante adequada ($j = 0,035 \times 27 \text{ m}$, $\sim 1 \text{ mca}$ e $v^2/2g = 0,096$ com perda total inferior a 1,5 m).

As descargas de lodo proveniente dos equipamentos de remoção deverão ser reunidas em uma tubulação com diâmetro igual a 300 mm, estando prevista duas tubulações de 300 mm; uma atendendo os decantadores implantados na primeira etapa e a segunda atendendo os decantadores implantados em segunda etapa.

Como podem ocorrer descargas simultâneas em equipamentos de remoção de lodo instalados em diferentes decantadores, vamos admitir a ocorrência de descargas simultâneas em pelo menos um equipamento de remoção de lodo por decantador. Desta forma, a vazão máxima prevista para a tubulação prevista de 300 mm deverá ser igual a:

$$Q_{desc} = 3,87 \text{ L/s} \cdot 6 \cong 23,2 \text{ L/s}$$

Como os decantadores deverão ser dotados de sistemas de remoção semi-contínua de lodo, não deverá ser necessário prever o seu esgotamento a cada 60 dias para fins de limpeza. No entanto, como deverá ser previsto a necessidade de esgotamento do decantador pelo menos uma vez por ano para fins de manutenções periódicas, cada unidade deverá ser dotada de uma tomada seletiva situada em cerca 50% de sua altura, de modo que o volume de água superior possa ser encaminhado para o sistema de equalização de água de lavagem dos filtros e posterior retorno ao início do processo de tratamento.

As Figuras 4.15 a 4.18 apresentam as descargas seletivas a serem instaladas nos decantadores implantados em primeira e segunda etapa.

Figura 4.15 – Vista geral das descargas seletivas superiores a serem instaladas nos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha

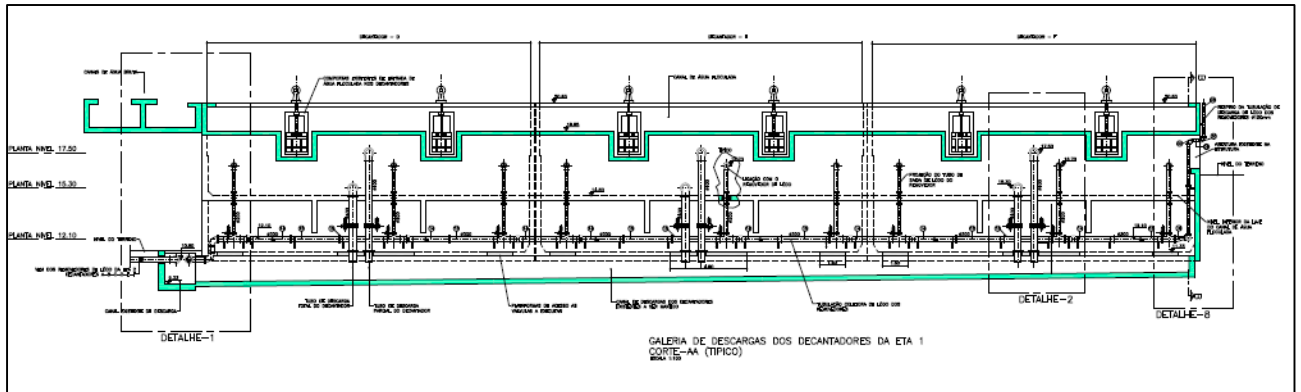


Figura 4.16 – Vista geral das descargas seletivas superiores a serem instaladas nos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha

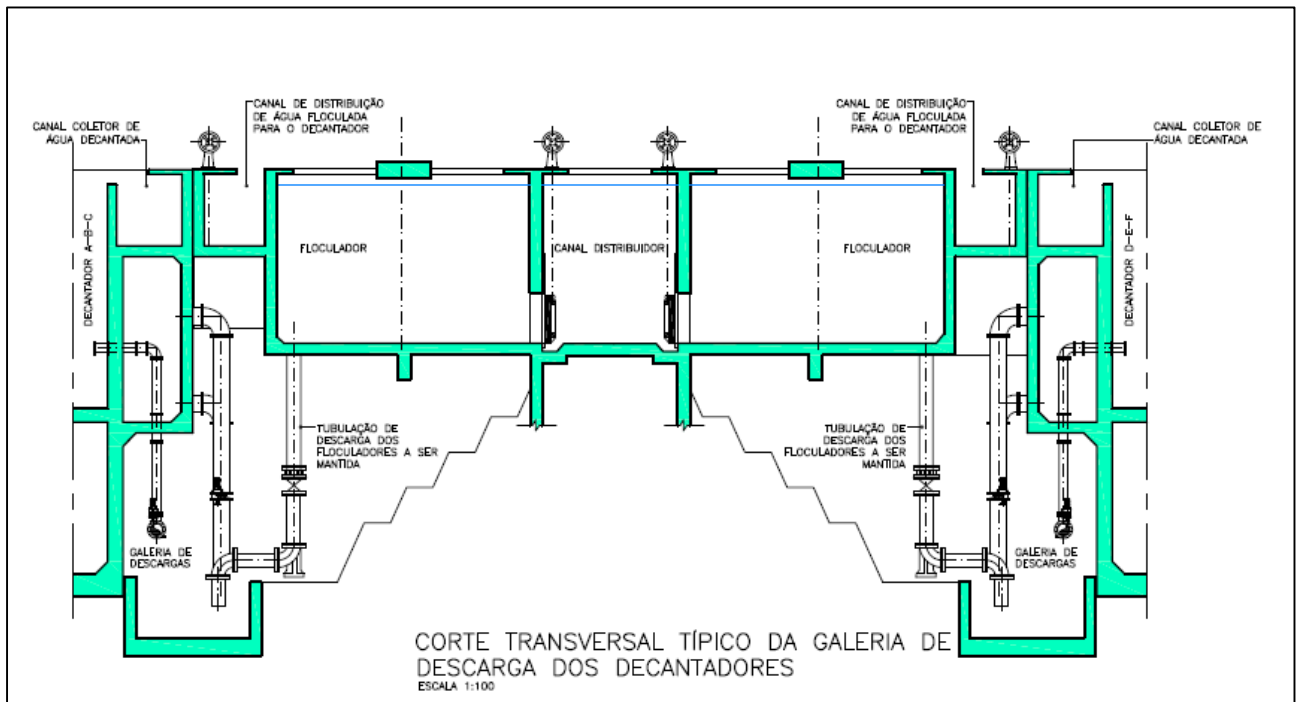


Figura 4.17 – Vista geral das descargas seletivas superiores a serem instaladas nos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha

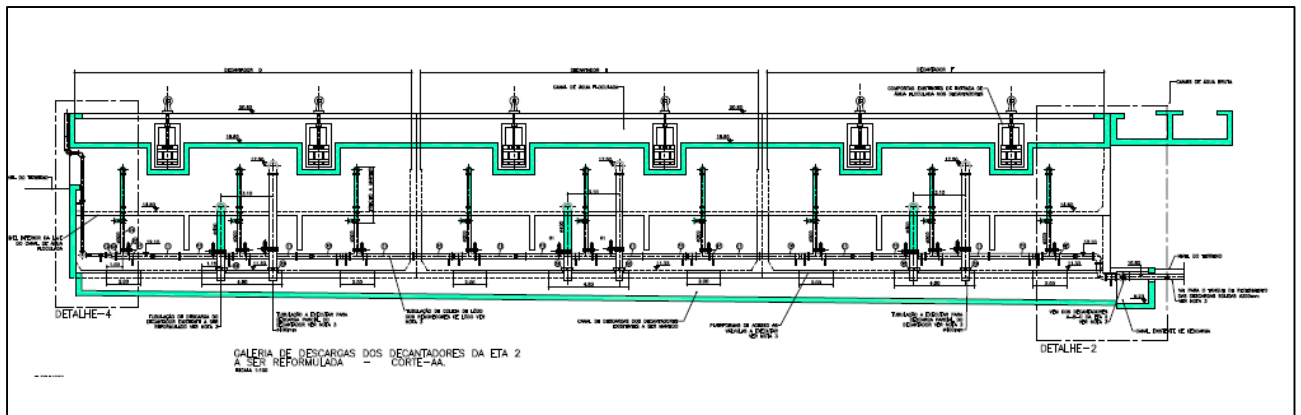
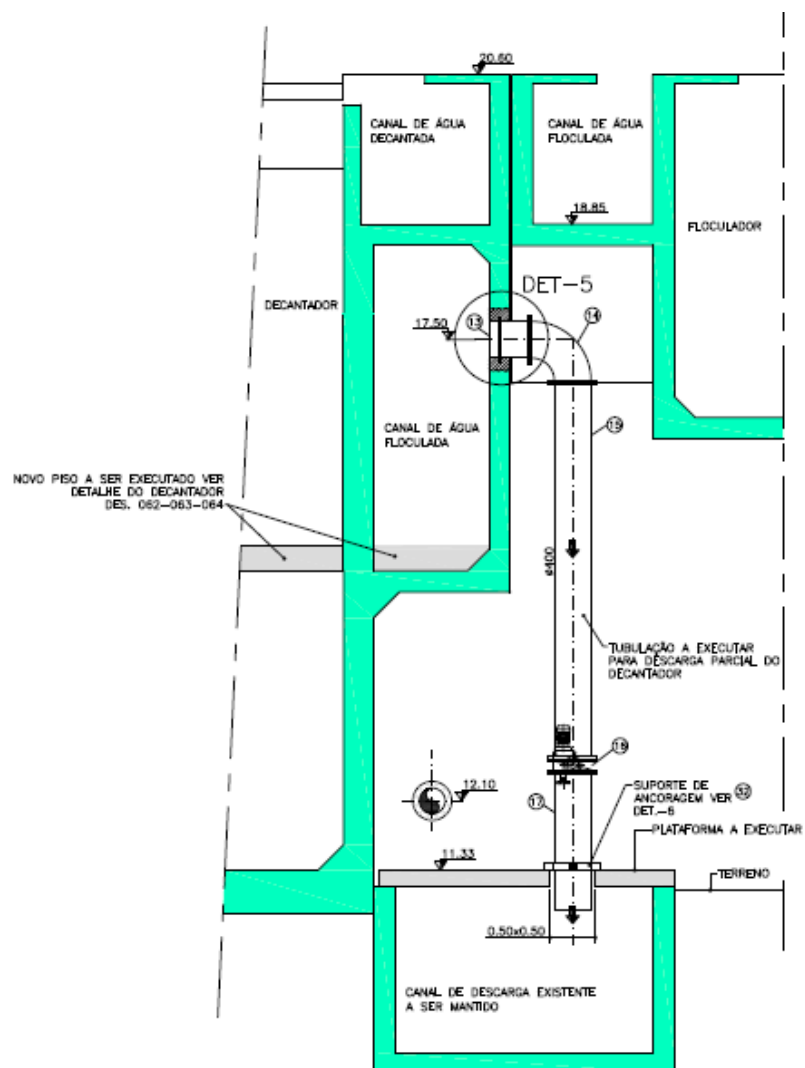


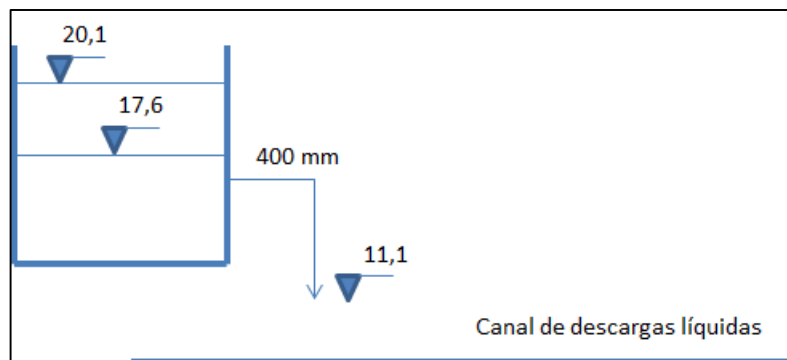
Figura 4.18 – Vista geral das descargas seletivas superiores a serem instaladas nos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha



Prevê-se que aproximadamente 50% do volume superior do decantador seja recuperada mediante a sua descarga a ser efetuada no canal de recebimento de água de lavagem e posterior envio ao tanque de equalização de água de lavagem.

Uma vez que a cota do nível d'água nos decantadores situa-se em torno de 20,1 metros e que sua altura útil é da ordem de 5,0 metros, tem-se que após a abertura da válvula de descarga líquida, o nível d'água no decantador deverá variar de 20,1 metros a 17,6 metros. Desta forma, tem-se o seguinte esquema hidráulico apresentado na Figura 4.19.

Figura 4.19 – Esquema hidráulico proposto para verificação das condições hidráulicas de envio das descargas líquidas dos decantadores o canal de recebimento de água de lavagem dos filtros



Vamos admitir, portanto, que a cota inicial do nível d'água de montante (decantador) situe-se em 20,1 e conhecendo-se a cota de saída da tubulação de descarte (11,1), tem-se que o desnível geométrico inicial deverá ser de 9,0 m. Uma vez que o reservatório de montante está sujeito a variação de nível, a verificação de seu tempo de esvaziamento terá que ser efetuada em intervalos de tempo sucessivos. Vamos admitir uma tubulação com diâmetro igual a 400 mm e, desta forma, pode-se proceder ao cálculo das perdas de carga pertinentes ao sistema.

Assumindo um comprimento real igual a 7,6 metros e as perdas de carga localizadas apresentadas Na Tabela 9, pode-se efetuar o cálculo hidráulico da capacidade de transporte da adutora aplicando-se a equação de Bernoulli entre os pontos de interesse, a saber:

$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2.g} = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2.g} + \Delta H_{a,b}$$

- P_a/γ = pressão em m.c.a no ponto A
- P_b/γ = pressão em m.c.a no ponto B
- z_b e z_a = cotas nos pontos A e B
- V_a e V_b = velocidades em m/s nos pontos A e B
- $\Delta H_{a,b}$ = perda de carga total entre A e B

A perda de carga pode ser calculada mediante o emprego da Formula Universal e o fator de atrito pode ser estimado pela expressão proposta por Colebrook e White:

$$\Delta H = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{f}} \right]$$

Tabela 4.3 – Perdas de carga localizadas consideradas para a descarga líquida dos decantadores até o canal de água de lavagem dos filtros

Perdas de carga localizadas	
Entrada de tubulação=	0,50
Curva 90°=	0,40
Válvula borboleta aberta=	0,50
Saída de tubo=	1,00
Somatório de K's=	2,40

Uma vez efetuando-se os cálculos pertinentes, tem-se os seguintes valores:

- Desnível geométrico inicial: 9,0 metros
- Diâmetro: 400 mm
- Comprimento real: 7,6 m

Tabela 4.4 – Variação de vazão e demais parâmetros hidráulicos quando do esgotamento dos decantadores por meio de suas descargas seletivas – Tubulação de 400 mm

Desnível (m)	Nível d'água no reservatório de montante (m)	Tempo (horas)	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)
9,05	20,15	0,000	1022,9	8,14
8,94	20,04	0,017	1016,5	8,09
8,82	19,92	0,033	1010,0	8,04
8,71	19,81	0,050	1003,5	7,99
8,60	19,70	0,067	997,1	7,93
8,49	19,59	0,083	990,6	7,88
8,38	19,48	0,100	984,1	7,83
8,27	19,37	0,117	977,7	7,78
8,16	19,26	0,133	971,2	7,73
8,05	19,15	0,150	964,8	7,68
7,95	19,05	0,167	958,4	7,63
7,84	18,94	0,183	951,9	7,58
7,73	18,83	0,200	945,5	7,52
7,63	18,73	0,217	939,0	7,47
7,52	18,62	0,233	932,6	7,42
7,42	18,52	0,250	926,1	7,37
7,32	18,42	0,267	919,7	7,32
7,22	18,32	0,283	913,2	7,27
7,11	18,21	0,300	906,8	7,22
7,01	18,11	0,317	900,3	7,16
6,91	18,01	0,333	893,9	7,11
6,81	17,91	0,350	887,4	7,06
6,72	17,82	0,367	881,0	7,01
6,62	17,72	0,383	874,5	6,96
6,52	17,62	0,400	868,0	6,91
6,42	17,52	0,417	861,6	6,86

Conforme resultados apresentados Na Tabela, as vazões de descarregamento deverão variar de 1.023 L/s a 860 L/s e seu tempo de esgotamento deverá situar-se em torno de 0,5 horas, valor este que pode ser considerado como bastante razoável. Portanto, a adoção de uma tubulação com 400 mm de diâmetro para a descarga líquida é adequada objetivando o esgotamento do volume superior do decantador.

Uma vez tendo-se esgotado o nível d'água no decantador da cota 20,1 metros até a cota 17,6 metros procede-se o fechamento da válvula da tubulação de descarga líquida e continua-se com o seu esgotamento prevendo-se a abertura de sua descarga de fundo.

As descargas de fundo também deverão descarregar o volume restante de 50% do decantador no canal de recebimento de descargas líquidas, no entanto, mediante manobra nas comportas da UTR, o seu volume deverá ser direcionado para o tanque de recebimento de lodo dos decantadores e não mais nos tanques de recebimento de água de lavagem dos filtros.

As Figuras 4.20 a Figura 4.23 apresentam as descargas de fundo a serem instaladas nos decantadores implantados em primeira e segunda etapa.

Figura 4.20 – Vista geral das descargas de fundo a serem instaladas nos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha

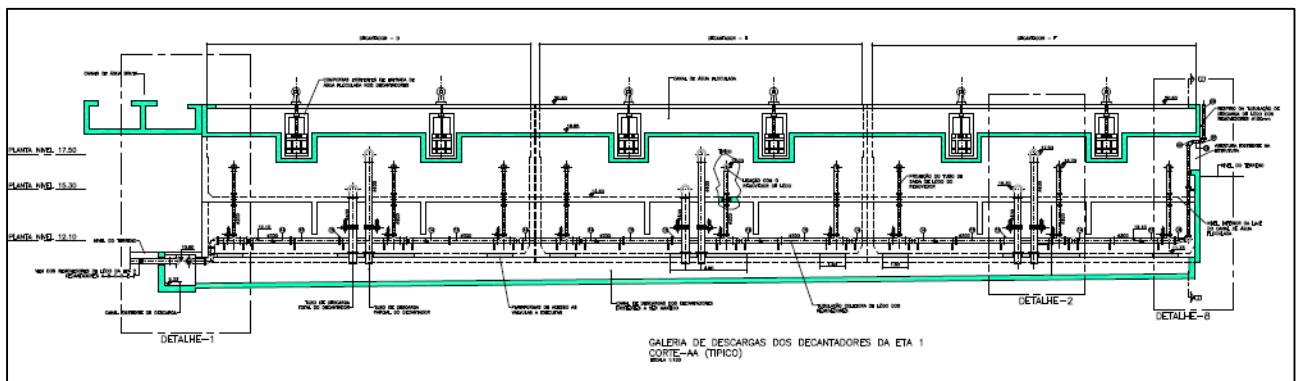


Figura 4.21 – Vista geral das descargas de fundo a serem instaladas nos decantadores implantados em primeira etapa na ETA Bolonha

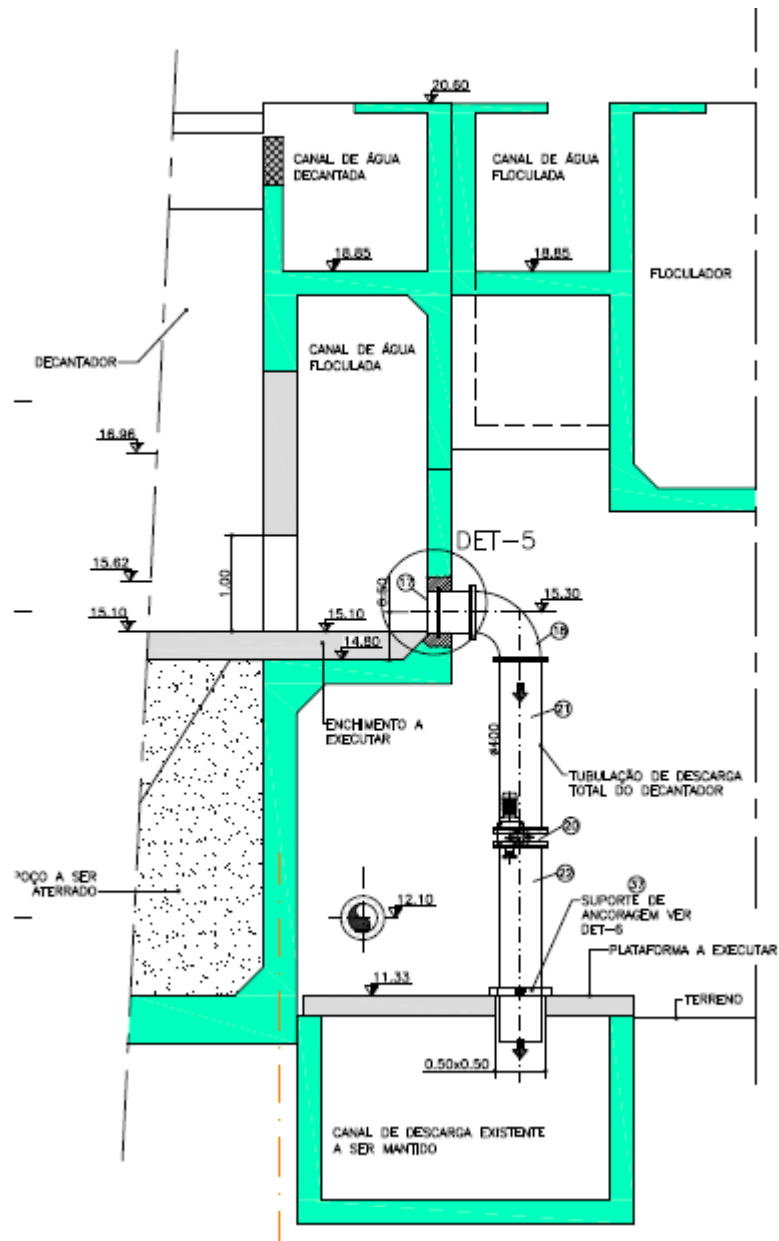


Figura 4.22 – Vista geral das descargas de fundo a serem instaladas nos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha

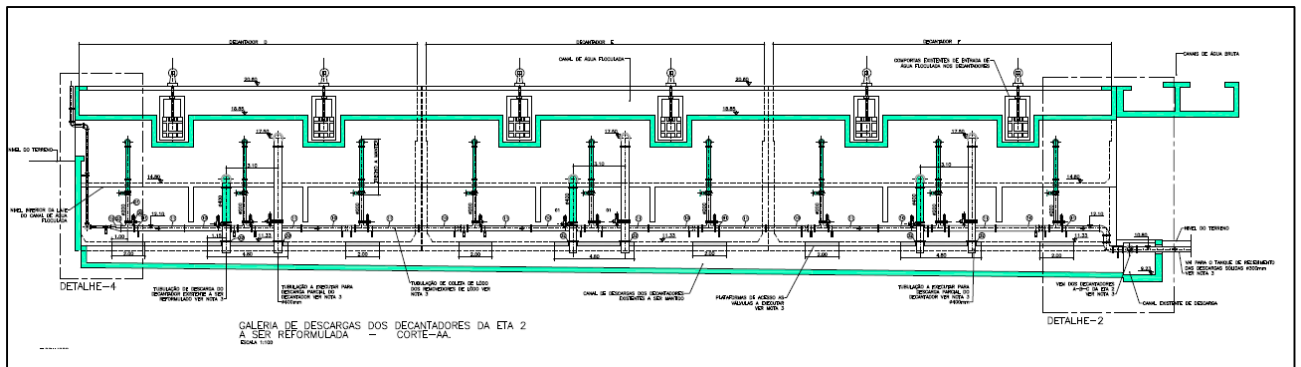
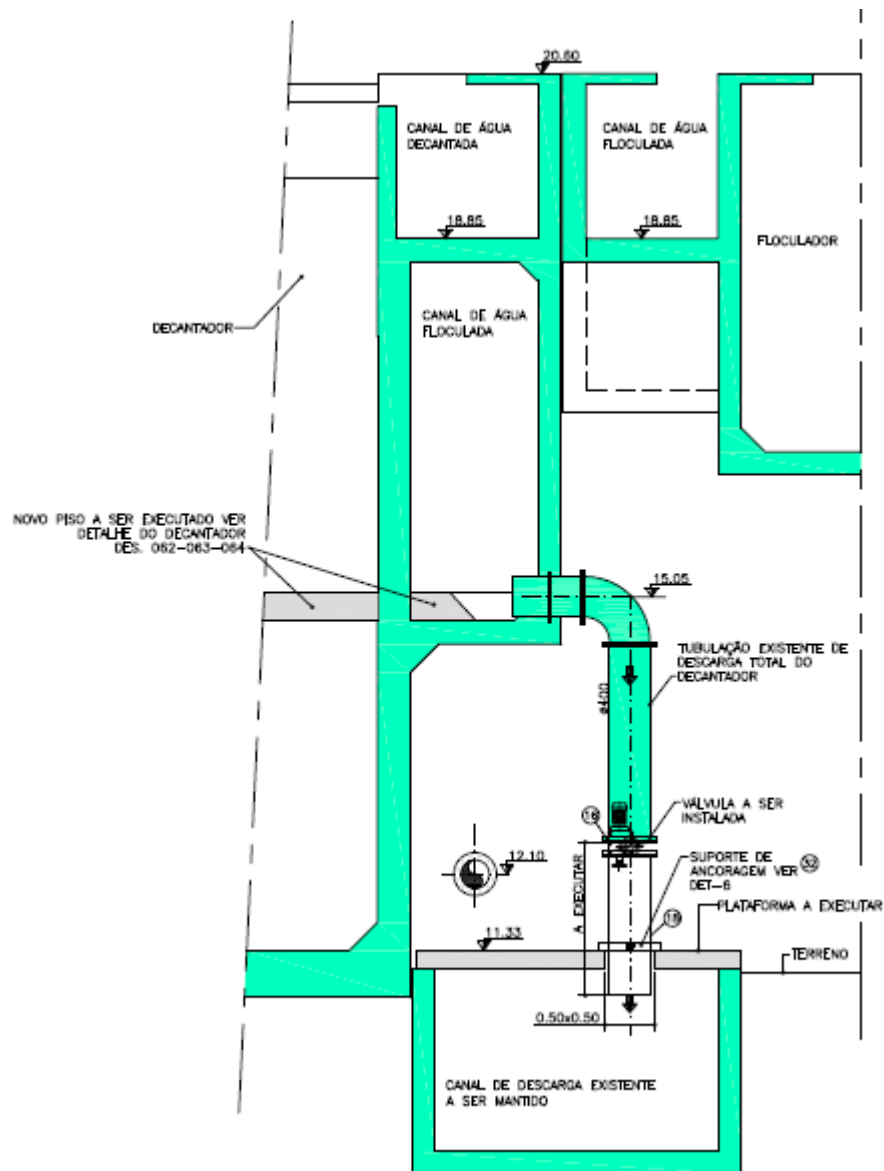
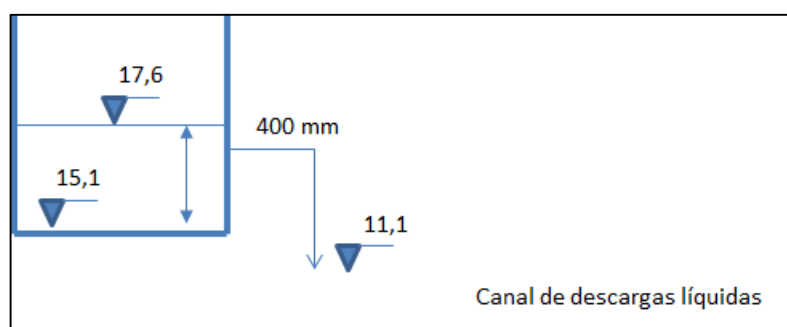


Figura 4.23 – Vista geral das descargas de fundo a serem instaladas nos decantadores implantados em segunda etapa na ETA Bolonha



Agora, a cota do nível d'água nos decantadores situa-se em torno de 17,6 metros e a altura útil do nível d'água é da ordem de 2,5 metros. Assim sendo, tem-se que após a abertura da válvula de descarga sólida, o nível d'água no decantador deverá variar de 17,6 metros a 15,1 metros. Portanto, o esquema hidráulico correspondente ao esgotamento do lodo nos decantadores encontra-se apresentado na Figura 4.24.

Figura 4.24 – Esquema hidráulico proposto para verificação das condições hidráulicas de envio das descargas sólidas dos decantadores ao canal de recebimento de água de lavagem dos filtros



Vamos admitir, portanto, que a cota inicial do nível d'água de montante (decantador) situe-se em 17,6 e conhecendo-se a cota de saída da tubulação de descarte (11,1), tem-se que o desnível geométrico inicial deverá ser de 6,5 m. Uma vez que o reservatório de montante está sujeito a variação de nível, a verificação de seu tempo de esvaziamento terá que ser efetuada em intervalos de tempo sucessivos. Vamos admitir uma tubulação com diâmetro igual a 400 mm e, desta forma, pode-se proceder ao cálculo das perdas de carga pertinentes ao sistema.

Assumindo um comprimento real igual a 7,6 metros e as perdas de carga localizadas apresentadas Na Tabela 11, pode-se efetuar o cálculo hidráulico da capacidade de transporte da adutora aplicando-se a equação de Bernoulli entre os pontos de interesse, a saber:

$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2.g} = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2.g} + \Delta H_{a,b}$$

- P_a/γ = pressão em m.c.a no ponto A
- P_b/γ = pressão em m.c.a no ponto B
- z_b e z_a = cotas nos pontos A e B
- V_a e V_b = velocidades em m/s nos pontos A e B

- $\Delta H_{a,b}$ = perda de carga total entre A e B

A perda de carga pode ser calculada mediante o emprego da Formula Universal e o fator de atrito pode ser estimado pela expressão proposta por Colebrook e White:

$$\Delta H = \frac{8.f.L.Q^2}{g.\pi^2.D^5}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.\log \left[\frac{k}{3,71.D} + \frac{2,51}{R_e.\sqrt{f}} \right]$$

Tabela 4.5 – Perdas de carga localizadas consideradas para a descarga do lodo dos decantadores até o canal de água de lavagem dos filtros

Perdas de carga localizadas	
Entrada de tubulação=	0,50
Curva 90°=	0,40
Válvula borboleta aberta=	0,50
Saída de tubo=	1,00
Somatório de K's=	2,40

Uma vez efetuando-se os cálculos pertinentes, têm-se os seguintes valores:

- Desnível geométrico inicial: 6,5 metros
- Diâmetro: 400 mm
- Comprimento real: 7,6 m

Tabela 4.6 – Variação de vazão e demais parâmetros hidráulicos quando do esgotamento dos decantadores por meio de suas descargas de fundo – Tubulação de 400 mm

Desnível (m)	Nível d'água no reservatório de montante (m)	Tempo (horas)	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)
6,40	17,50	0,000	860,0	6,84
6,30	17,40	0,017	853,6	6,79
6,21	17,31	0,033	847,1	6,74
6,12	17,22	0,050	840,7	6,69

Desnível (m)	Nível d'água no reservatório de montante (m)	Tempo (horas)	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)
6,02	17,12	0,067	834,2	6,64
5,93	17,03	0,083	827,7	6,59
5,84	16,94	0,100	821,3	6,54
5,75	16,85	0,117	814,8	6,48
5,66	16,76	0,133	808,4	6,43
5,57	16,67	0,150	801,9	6,38
5,48	16,58	0,167	795,5	6,33
5,39	16,49	0,183	789,0	6,28
5,30	16,40	0,200	782,6	6,23
5,21	16,31	0,217	776,1	6,18
5,13	16,23	0,233	769,7	6,12
5,04	16,14	0,250	763,2	6,07
4,96	16,06	0,267	756,8	6,02
4,87	15,97	0,283	750,3	5,97
4,79	15,89	0,300	743,8	5,92
4,71	15,81	0,317	737,4	5,87
4,63	15,73	0,333	730,9	5,82
4,54	15,64	0,350	724,5	5,77
4,46	15,56	0,367	718,0	5,71
4,38	15,48	0,383	711,6	5,66
4,30	15,40	0,400	705,1	5,61
4,23	15,33	0,417	698,7	5,56
4,15	15,25	0,433	692,2	5,51
4,07	15,17	0,450	685,7	5,46
4,00	15,10	0,467	679,3	5,41

Conforme resultados apresentados Na Tabela, as vazões de descarregamento deverão variar de 860 L/s a 679 L/s e seu tempo de esgotamento deverá situar-se em torno de 0,5 horas, valor este que pode ser considerado como bastante razoável. Portanto, a adoção de uma tubulação com 400 mm de diâmetro para a descarga de fundo é adequada objetivando o esgotamento do volume inferior do decantador.

Logo, somando-se os tempos associados ao esgotamento de ambas fase líquida e sólida dos decantadores, tem-se que em torno de 60 minutos é possível o completo esgotamento da unidade. Acrescentando-se mais 30 minutos de folga (abertura e fechamento de válvulas e manobra das comportas na estrutura de divisão de vazão afluentes a UTR), tem-se que, em não mais de 90 minutos, o decantador deverá estar vazio.



INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE FILTRAÇÃO

5 INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA AS UNIDADES DE FILTRAÇÃO

Conforme exposto anteriormente, o Sistema Produtor Bolonha possui um total de 16 unidades de filtração, sendo que 8 unidades pertencem a primeira etapa e 8 unidades pertencem a segunda etapa.

Cada unidade de filtração possui duas câmaras, com dimensões unitárias iguais a 6,0 metros de largura por 12,0 metros de comprimento, o que perfaz uma área útil por câmara de filtração igual a 72 m² e 144 m² por filtro.

As unidades de filtração implantadas em primeira etapa encontram-se inoperantes e, desta forma, atualmente apenas 8 unidades que compõem a segunda etapa estão em operação.

Para a vazão atual de operação igual a 5,0 m³/s, tem-se que a sua taxa de filtração é da ordem de:

$$q_{\text{atual}} = \frac{Q}{A} = \frac{5,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 86400 \frac{\text{s}}{\text{dia}}}{8.144 \text{ m}^2} \cong 375 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

O valor da taxa de filtração encontra-se relativamente alto, ainda mais considerando que o sistema de filtração implantado na ETA Bolonha é constituído por filtros do tipo dupla camada areia e antracito trabalhando hidráulicamente como taxa declinante. Isto posto, se faz necessário a reforma das unidades de filtração que correspondem a primeira etapa, de forma que seja possível o aumento da vazão afluenta a ETA Bolonha.

Para a condição futura de operação da ETA Bolonha com vazão máxima afluenta igual a 6,4 m³/s, tem-se que a taxa de filtração esperada deverá ser igual a:

$$q_{fp} = \frac{Q}{A} = \frac{6,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 86400 \text{ s/dia}}{16.144 \text{ m}^2} \cong 240 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

Conforme já comentado, este valor de taxa de filtração (240 m³/m²/dia) é plenamente compatível para filtros do tipo dupla câmara areia e antracito. Assim sendo, como as unidades de filtração da primeira etapa encontram-se fora de operação e com todas as suas partes constitutivas (sistema de drenagem, camada suporte, materiais filtrantes, válvulas e demais acessórios) em mal estado de conservação, tem-se que os mesmos terão que ser inteiramente reformados.

Uma vez reformadas e colocadas novamente em operação, tem-se que o sistema de filtração deverão trabalhar de modo adequado, haja vista que as taxas de filtração são bastante

razoáveis, devendo apresentar condições de produção de água filtrada com valores de turbidez inferior a 0,3 UNT.

Desta forma, as unidades de filtração a serem reformadas deverão manter a mesma concepção das unidades implantadas em segunda etapa, isto é, deverão ser do tipo dupla camada areia e antracito, trabalhando hidráulicamente como taxa declinante. Desta forma, o meio filtrante deverá apresentar a seguinte composição granulométrica:

Tabela 5.1 - Composição granulométrica

Camada	Espessura (m)	Diâmetro efetivo (mm)	Coefficiente de uniformidade
Areia	0,2	0,5	< 1,6
Antracito	0,4	1,0	< 1,6

A composição da camada suporte a ser adotada deve ser compatível com as condições de lavagem das unidades de filtração. Uma vez que todas as unidades de filtração da primeira etapa a serem reformadas deverão ser lavadas com ar seguido de água, vamos adotar a mesma composição para a camada suporte implantada para as unidades de filtração construídas em segunda etapa.

Tabela 5.2 – Granulometria e Espessura

Camada	Granulometria	Espessura
Camada 1	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm (Topo)
Camada 2	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 3	1,6 mm a 3,2 mm	5,0 cm
Camada 4	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 5	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 6	12,7 mm a 25,4 mm	5,0 cm
Camada 7	25,4 mm a 50,8 mm	30 cm (Fundo)
Total		60 cm

Os fundos falsos das unidades de filtração a serem reformadas também deverão ter igual concepção a dos filtros implantados em segunda etapa, isto é, deverão ser constituídas por vigas do tipo V invertidas (vigas californianas). Tendo em vista facilitar a execução e montagem das peças, as mesmas deverão ser confeccionadas em aço inoxidável AISI 304 e dispostas nas unidades de filtração, de modo que o fundo falso tenha cerca de 80 cm de altura.

As principais características de cada unidade de filtração estão apresentadas a seguir:

- Número de câmaras de filtração: 02 câmaras por filtro
- Largura da câmara de filtração: 6,0 m
- Comprimento da câmara de filtração: 12,0 m
- Área unitária de cada câmara de filtração: 72 m²
- Área total da unidade de filtração: 144 m²
- Dimensões da comporta de entrada de água decantada na unidade de filtração: 600 mm por 600 mm
- Diâmetro da tubulação de saída de água filtrada: 500 mm
- Dimensões da comporta de saída de água de lavagem da unidade de filtração: 600 mm por 600 mm
- Diâmetro da tubulação do sistema de drenagem: 150 mm
- Diâmetro da tubulação de entrada de água de lavagem: 700 mm
- Diâmetro da tubulação de distribuição de ar para lavagem dos filtros: 400 mm
- Número de calhas de coleta de água de lavagem: 06
- Altura da calha de coleta de água de lavagem: 0,42 m
- Largura da calha de coleta de água de lavagem: 0,6 m
- Sistema de drenagem composto por vigas californianas construídas em aço inoxidável AISI 304
- Número de vigas californianas por câmara de filtração: 40 unidades
- Número de orifícios por viga californiana: 106 orifícios
- Dimensão dos orifícios: 12 mm
- Altura útil do fundo falso: 0,80 m
- Largura do vertedor de saída de água filtrada por câmara de filtração: 2,9 m

As Figuras 5.1 e Figura 5.2 apresentam uma planta das unidades de filtração da primeira etapa após a sua reforma apresentando a disposição de suas calhas de coleta de água de lavagem e vigas californianas como sistema de drenagem.

Figura 5.1 – Planta geral de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma

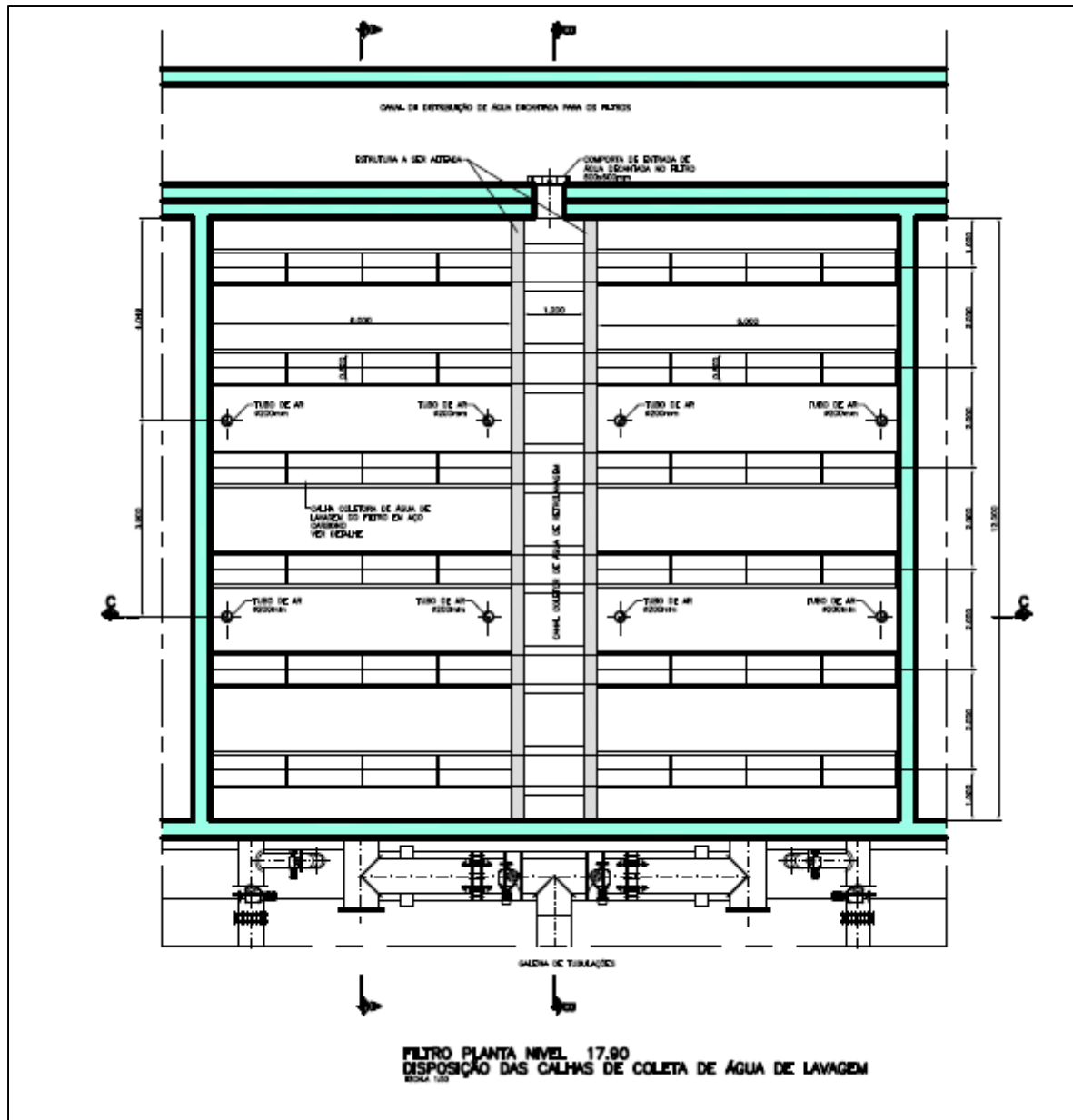
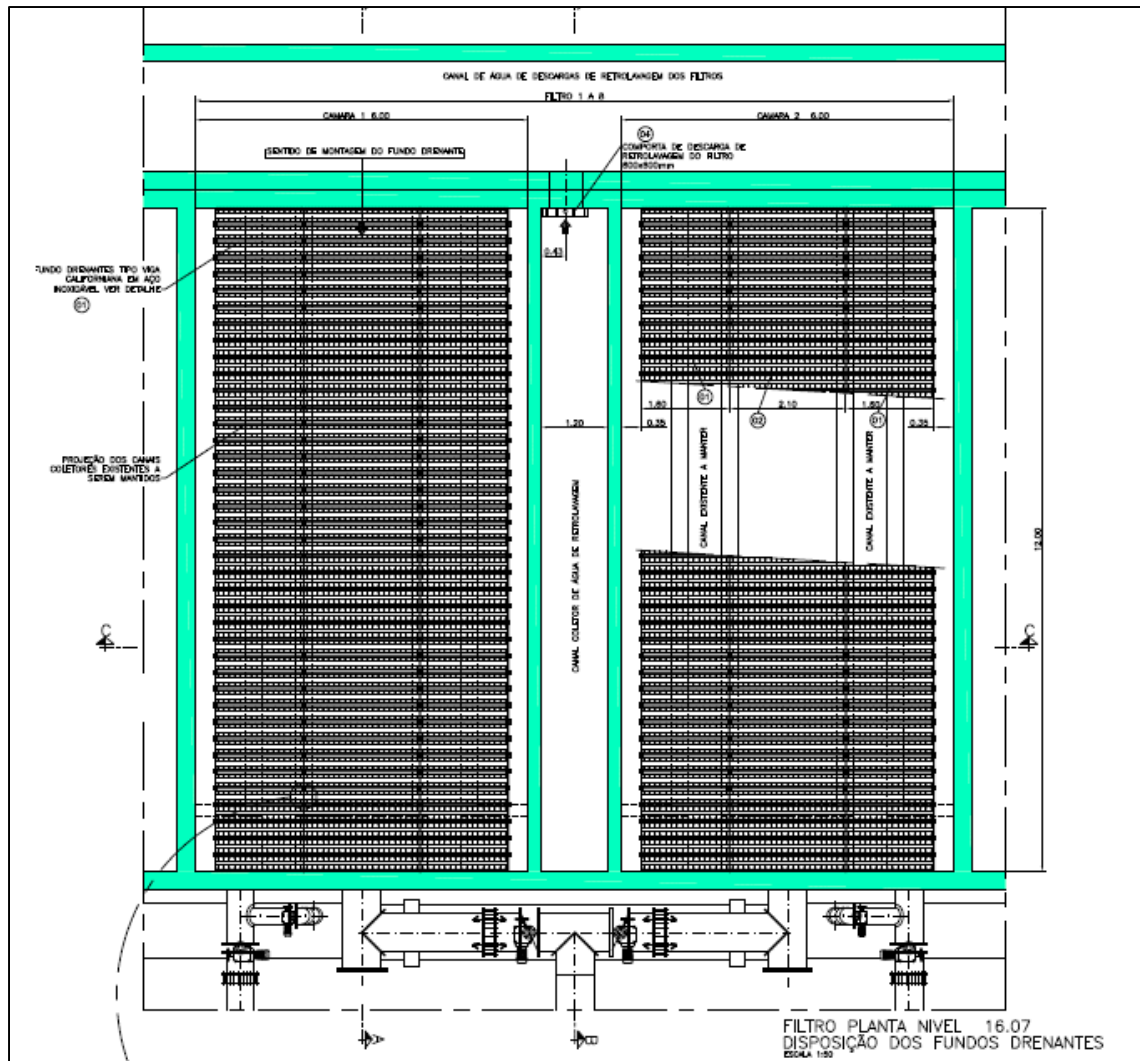


Figura 5.2 – Planta de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma – Disposição das vigas californianas e fundo falso



A Figura 5.3 a Figura 5.5 apresentam corte das unidades de filtração a serem reformadas e a disposição da camada suporte e materiais filtrantes.

Figura 5.3 – Corte de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma

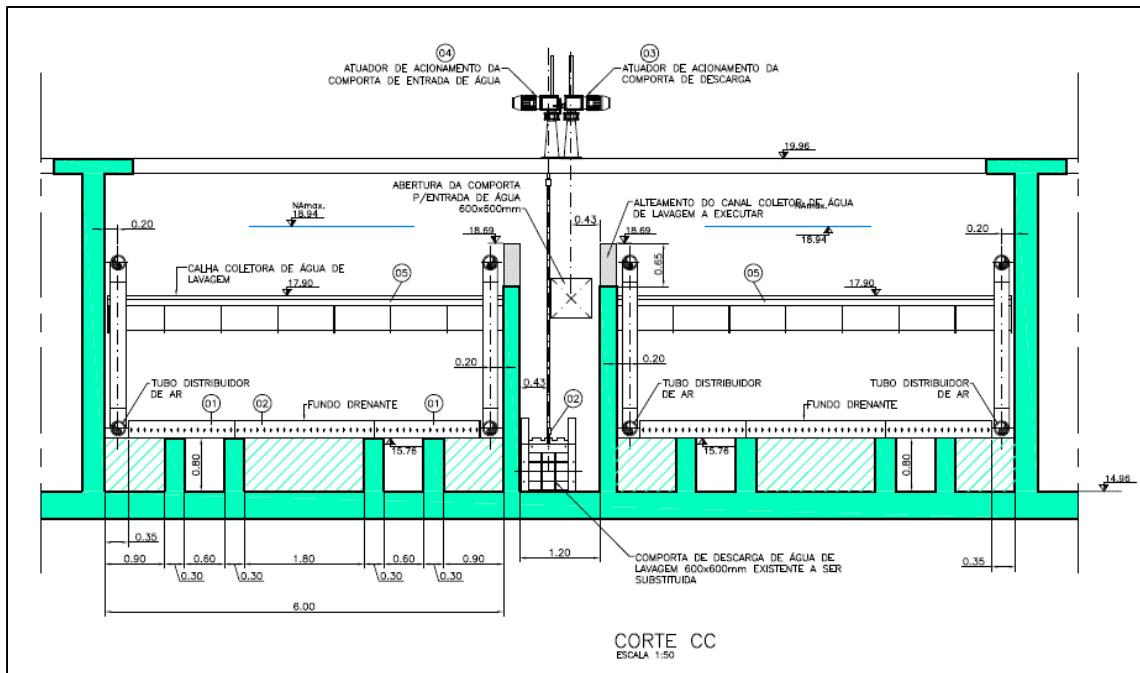


Figura 5.4 – Corte de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma – Disposição da camada suporte e materiais filtrantes

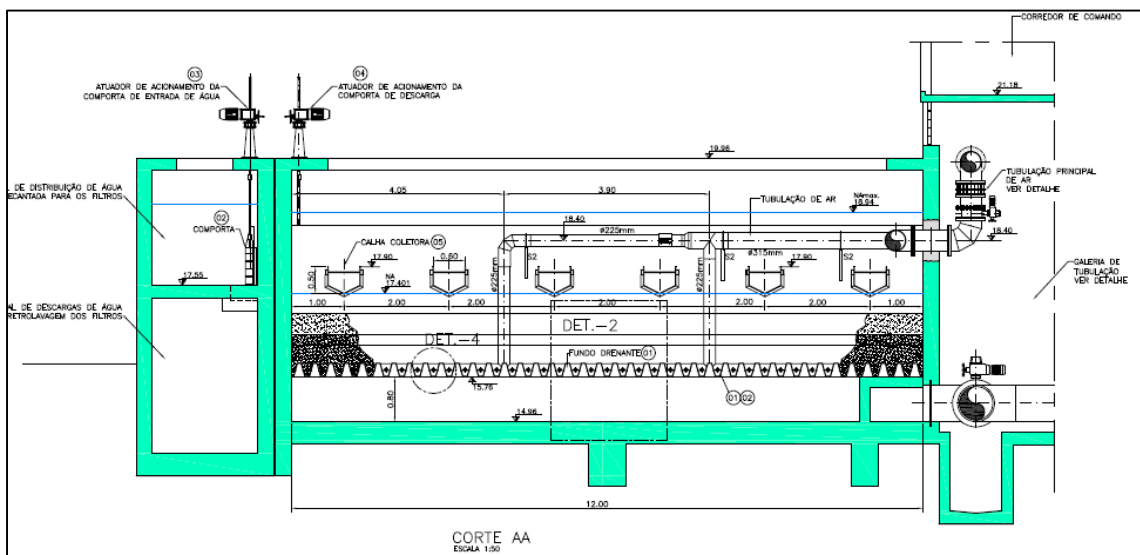
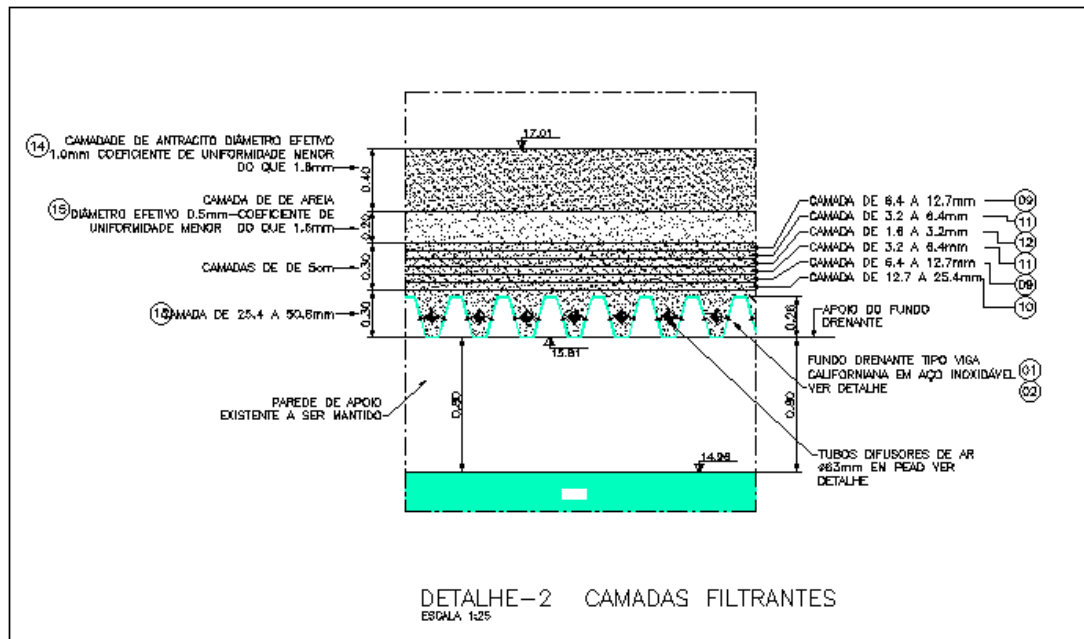


Figura 5.5 – Corte de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma – Disposição da camada suporte e materiais filtrantes



De forma que o comportamento das unidades de filtração operando como taxa declinante possa ser estabelecida, deverá ser necessário avaliar e calcular todas as suas perdas de carga em função da taxa de filtração.

➤ **Verificação do comportamento das unidades de filtração trabalhando como taxa declinante**

- Perda de carga na camada de antracito e areia

As perdas de carga nas camadas de areia e antracito serão estimadas empregando-se a Fórmula de Ergun, a saber:

$$\Delta H = \frac{4,17 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon_0)^2 \cdot S_v^2 \cdot V}{\rho \cdot g \cdot \varepsilon_0^3} + \frac{0,48 \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot S_v \cdot V^2}{g \cdot \varepsilon_0^3}$$

$$S_v = \frac{6}{\psi \cdot d_{eq}}$$

- ρ =massa específica da água (kg/m³).
- ε_0 =porosidade do meio filtrante
- μ =viscosidade dinâmica da água
- V =velocidade superficial (m/s)
- S_v =área superficial específica (m²/m³)

Como os meios filtrantes não apresentam características uniformes, os mesmos deverão ser divididos em subcamadas. Uma vez tendo sido fixado o diâmetro efetivo e coeficiente de uniformidade de ambos os materiais filtrantes, o valor de d_{60} e d_{90} podem ser calculados por:

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$d_{90} = d_{10} \cdot [10^{(1,67 \cdot \log(CU))}]$$

Portanto, efetuando subdivisões de cada camada de material filtrante em cinco subcamadas e conhecidos os seus valores de massa específica, coeficiente de esfericidade e porosidade, as perdas de cargas podem ser calculadas para diferentes taxas de filtração. A Tabela 6 apresenta as características dos materiais filtrantes considerados e de cada subcamada considerada.

Tabela 5.3 - Características dos materiais filtrantes empregados no sistema de filtração da ETA Bolonha

Material 1:	Areia
Porosidade 1:	0,45
Coeficiente de Esfericidade 1:	0,8
Altura do meio filtrante 1 (m):	0,2
Massa específica 1 (kg/m ³):	2750
Diâmetro efetivo 1 (mm):	0,5
Coeficiente de Uniformidade 1:	1,6
Material 2:	Antracito
Porosidade 2:	0,55
Coeficiente de Esfericidade 2:	0,5
Altura do meio filtrante 2 (m):	0,4
Massa específica 2 (kg/m ³):	1600
Diâmetro efetivo 2 (mm):	1,0
Coeficiente de Uniformidade 2:	1,6
Aceleração da gravidade (m/s ²):	9,81

Material 1:	Areia
Temperatura (C):	20

Tabela 5.4 - Características dos materiais filtrantes empregados no sistema de filtração da ETA Bolonha

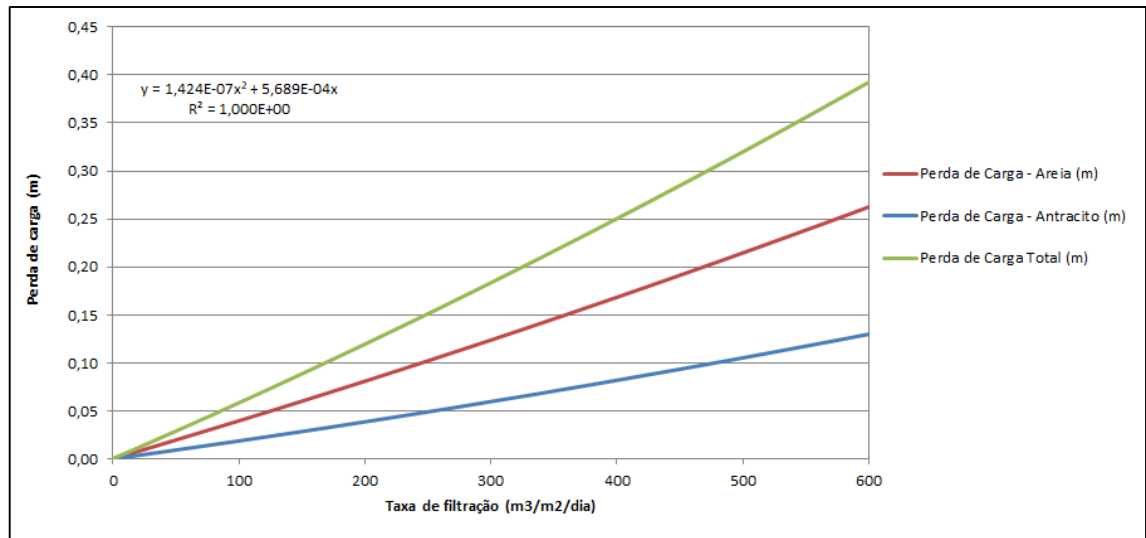
Fração mássica (%)	Altura (m)	Diâmetro (mm)	Área Específica (1/m)	(Área Específica) ² - (1/m ²)
10	0,04	0,500	1,50E+04	2,25E+08
30	0,04	0,620	1,21E+04	1,46E+08
50	0,04	0,740	1,01E+04	1,03E+08
70	0,04	0,899	8,35E+03	6,96E+07
90	0,04	1,096	6,84E+03	4,68E+07
			5,2420E+04	5,9052E+08

Tabela 5.5 - Características dos materiais filtrantes empregados no sistema de filtração da ETA Bolonha

Fração mássica (%)	Altura (m)	Diâmetro (mm)	Area Específica (1/m)	(Area Específica) ² - (1/m ²)
10	0,08	1,000	1,20E+04	1,44E+08
30	0,08	1,240	9,68E+03	9,37E+07
50	0,08	1,480	8,11E+03	6,57E+07
70	0,08	1,797	6,68E+03	4,46E+07
90	0,08	2,192	5,47E+03	3,00E+07
			4,1936E+04	3,7793E+08

A Figura 5.6 apresenta os valores de perda de carga calculados para areia e antracito para diferentes taxas de filtração.

Figura 5.6 – Valores de perda de carga calculados para a areia e antracito em função da taxa de filtração



- Equação de Perda de Carga nos Materiais Filtrantes em função da taxa de filtração:

$$\Delta H = 1,424 \cdot 10^{-7} \cdot q^2 + 5,689 \cdot 10^{-4} q$$

- Perda de carga na camada suporte

As perdas de carga na camada suporte serão estimadas empregando-se a Fórmula de Ergun, a saber:

$$\Delta H = \frac{4,17 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon_0)^2 \cdot S_v^2 \cdot V}{\rho \cdot g \cdot \varepsilon_0^3} + \frac{0,48 \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot S_v \cdot V^2}{g \cdot \varepsilon_0^3}$$

$$S_v = \frac{6}{\psi \cdot d_{eq}}$$

ρ =massa específica da água (kg/m³).
 ε_0 =porosidade do meio filtrante
 μ =viscosidade dinâmica da água
 V =velocidade superficial (m/s)
 S_v =área superficial específica (m²/m³)

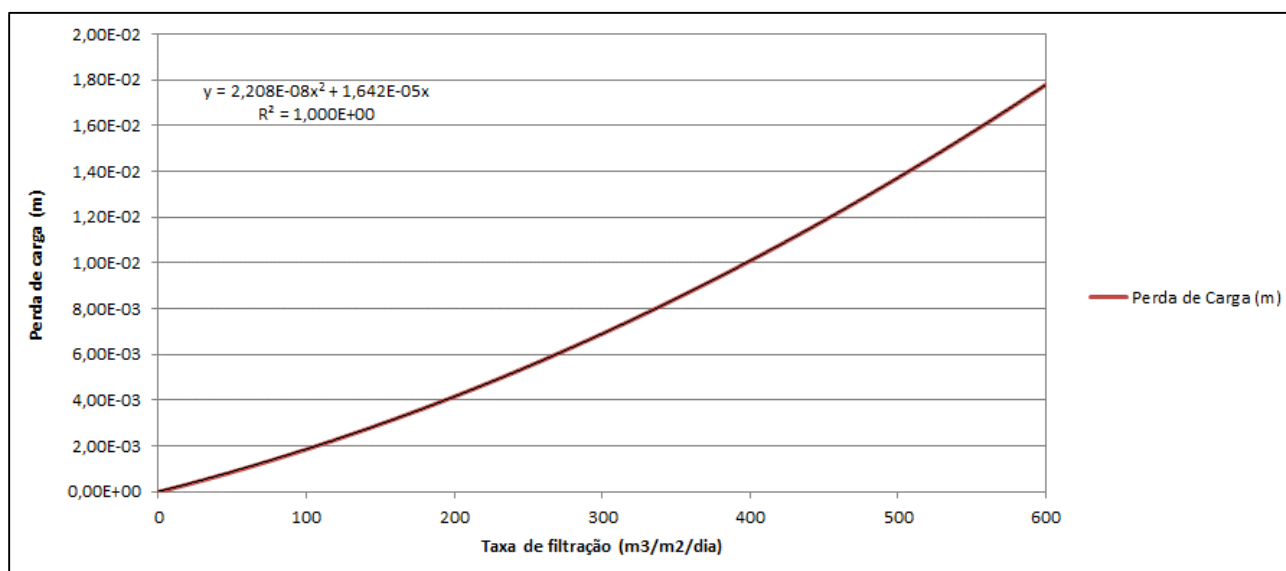
A Tabela 5.6 apresenta as características granulométricas de cada camada considerada e diâmetro médio.

Tabela 5.6 – Características granulométricas da camada suporte empregada no sistema de filtração da ETA Bolonha

Camada	Granulometria	Espessura
Camada 1	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm (Topo)
Camada 2	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 3	1,6 mm a 3,2 mm	5,0 cm
Camada 4	3,2 mm a 6,4 mm	5,0 cm
Camada 5	6,4 mm a 12,7 mm	5,0 cm
Camada 6	12,7 mm a 25,4 mm	5,0 cm
Camada 7	25,4 mm a 50,8 mm	30 cm (Fundo)
Total		60 cm

Admitindo para a camada suporte mesmos valores de massa específica, porosidade e coeficiente de esfericidade da areia, têm-se os seguintes valores de perda de carga para diferentes taxas de filtração (Figura 5.7).

Figura 5.7 – Valores de perda de carga calculados para a camada suporte em função da taxa de filtração



- Equação de Perda de Carga na Camada Suporte:

$$\Delta H = 2,208 \cdot 10^{-8} \cdot q^2 + 1,642 \cdot 10^{-5} \cdot q$$

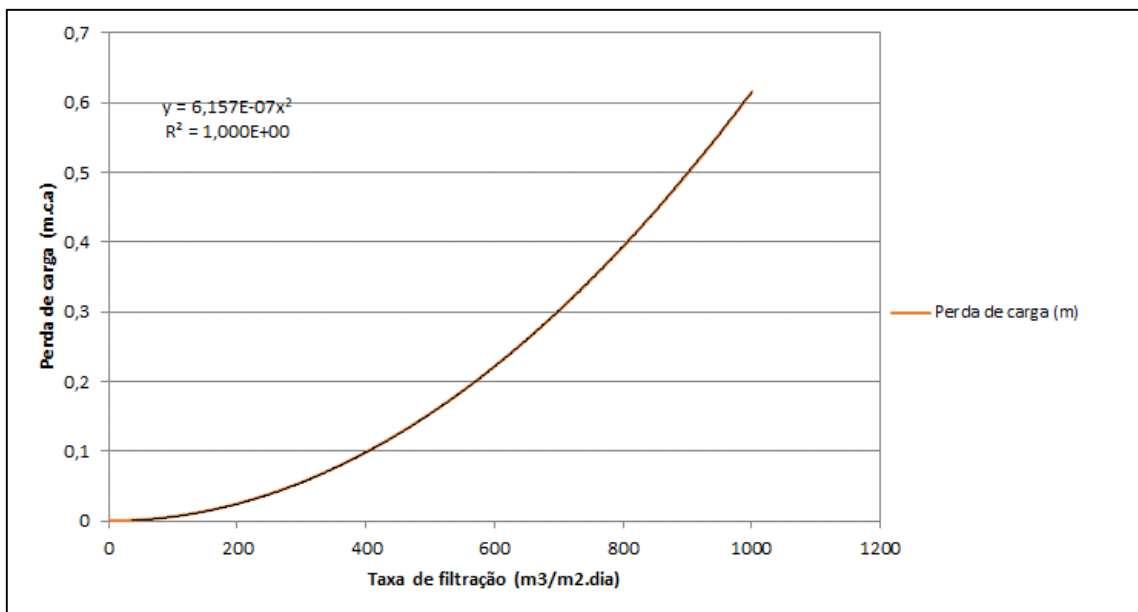
- Perda de carga no sistema de drenagem

Cada câmara de filtração possui um total de 40 vigas distribuídas ao longo de seu comprimento e cada viga possui um total de 106 orifícios com 12 mm de diâmetros espaçados a cada 10 cm. Desta forma, cada unidade de filtração possui um total de 8.480 orifícios com 12 mm de diâmetro. Portanto, a sua perda de carga pode ser calculada por meio da seguinte expressão:

$$\Delta H = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{q \cdot A_{\text{filtro}}}{86400 \cdot n_{\text{furos}} \cdot C_Q \cdot A_{\text{furo}}} \right)^2$$

Admitindo-se um coeficiente de vazão igual a 0,5 e explicitando a perda de carga em função da taxa de filtração (Figura 5.8), tem-se a seguinte equação de perda de carga para o sistema de drenagem:

Figura 5.8 – Perda de carga em função da taxa de filtração – ETA Bolonha



➤ Equação de Perda de Carga no sistema de drenagem:

$$\Delta H = 6,157 \cdot 10^{-7} \cdot q^2$$

- Cálculo da perda de carga na saída de água filtrada (500 mm) e entrada na estrutura de controle de nível

A tubulação de saída de água filtrada de cada câmara de filtração até a sua respectiva caixa de controle de nível é composta por um único trecho de tubulação com diâmetro igual a 500 mm. Vamos efetuar os cálculos da perda de carga a partir da saída da água filtrada da unidade de filtração até a estrutura de controle de nível.

As perdas de carga distribuídas podem ser desprezadas uma vez que os seus trechos apresentam comprimento bastante reduzido. Deste modo, podem ser identificadas as seguintes perdas de carga localizadas conforme apresentado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Perdas de carga localizadas para a saída de água filtrada do sistema de filtração da ETA Bolonha

Perda de carga localizada	Trecho	K	Diâmetro (mm)	Vazão (L/s)
Entrada de tubulação	1	0,5	500	*****
Tê passagem direta	1	0,6	500	
Válvula borboleta	1	0,5	500	
Saída de tubulação	1	1,0	500	*****

➤ Cálculo das perdas de carga localizadas

As perdas de carga localizadas podem ser calculadas pelas seguintes expressões:

- Perdas de carga localizadas

$$\Delta H = \sum K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \sum K \cdot \frac{Q^2}{A^2 \cdot 2g} = \frac{8 \cdot \sum K \cdot q^2 \cdot A_f^2}{g \cdot (86.400)^2 \cdot \pi^2 \cdot d^4}$$

$$\Delta H = \frac{8 \cdot \sum K \cdot q^2 \cdot A_f^2}{g \cdot (86.400)^2 \cdot \pi^2 \cdot d^4} = \frac{8 \cdot 2,6 \cdot q^2 \cdot (72)^2}{9,81 \cdot (86.400)^2 \cdot \pi^2 \cdot 0,50^4} = 2,387 \cdot 10^{-6} \cdot q^2$$

➤ Cálculo da perda de carga no vertedor de saída de água filtrada

A carga hidráulica no vertedor de saída pode ser calculada por:

$$Q = 1,838 \cdot b \cdot h^{3/2}$$

$$h = \left(\frac{Q}{1,838.b} \right)^{2/3}$$

Como cada câmara de filtração apresenta um vertedor individual com largura igual a 2,9 metros, tem-se que a sua perda de carga deverá ser igual a:

$$h = \left(\frac{Q}{1,838.b} \right)^{2/3} = \left(\frac{q.A}{1,838.b} \right)^{2/3} = \left(\frac{q.72,0}{1,838.2,9.86400} \right)^{2/3} = 2,902.10^{-3} q^{2/3}$$

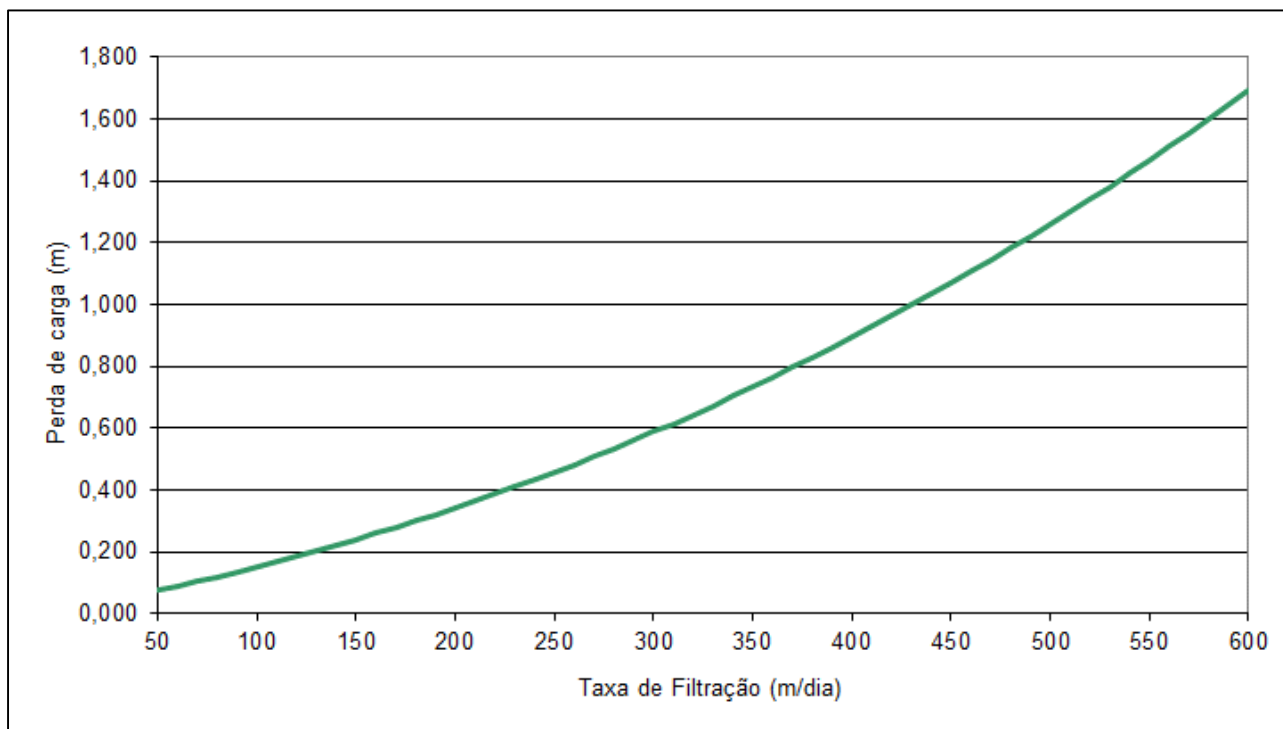
➤ **Equação Geral de Perda de Carga**

Somando-se todas as perdas de carga no sistema de filtração, tem-se que:

$$\Delta H = 3,145.10^{-6}.q^2 + 5,853.10^{-4}.q + 2,902.10^{-3}.q^{2/3}$$

A Figura 5.9 apresenta a perda de carga total no sistema de filtração em função da taxa de filtração.

Figura 5.9: Valores de perda de carga no sistema de filtração em função da taxa de filtração



Para a condição de vazão nominal e máxima iguais a 6,4 m³/s e 6,7 m³/s, as taxa de filtração esperadas deverão ser iguais a 240 m³/m²/dia e 251 m³/m²/dia, respectivamente. Desta forma, os valores de perda de carga para o meio filtrante limpo deverão ser iguais a 0,434 m e 0,461 m respectivamente.

As cotas do topo do material filtrante e da crista do vertedor de saída de água filtrada deverão estar em 17,010 e 16,940 respectivamente. Vamos fixar o nível d'água máximo na caixa do filtro na cota 18,940 e, desta forma, a carga hidráulica disponível para o processo de filtração resulta igual a 2,0 metros. Assim sendo, poderemos efetuar as simulações para a operação do sistema de filtração como taxa declinante. Estas simulações deverão ser efetuadas considerando os seguintes cenários apresentados na Tabela 5.8.

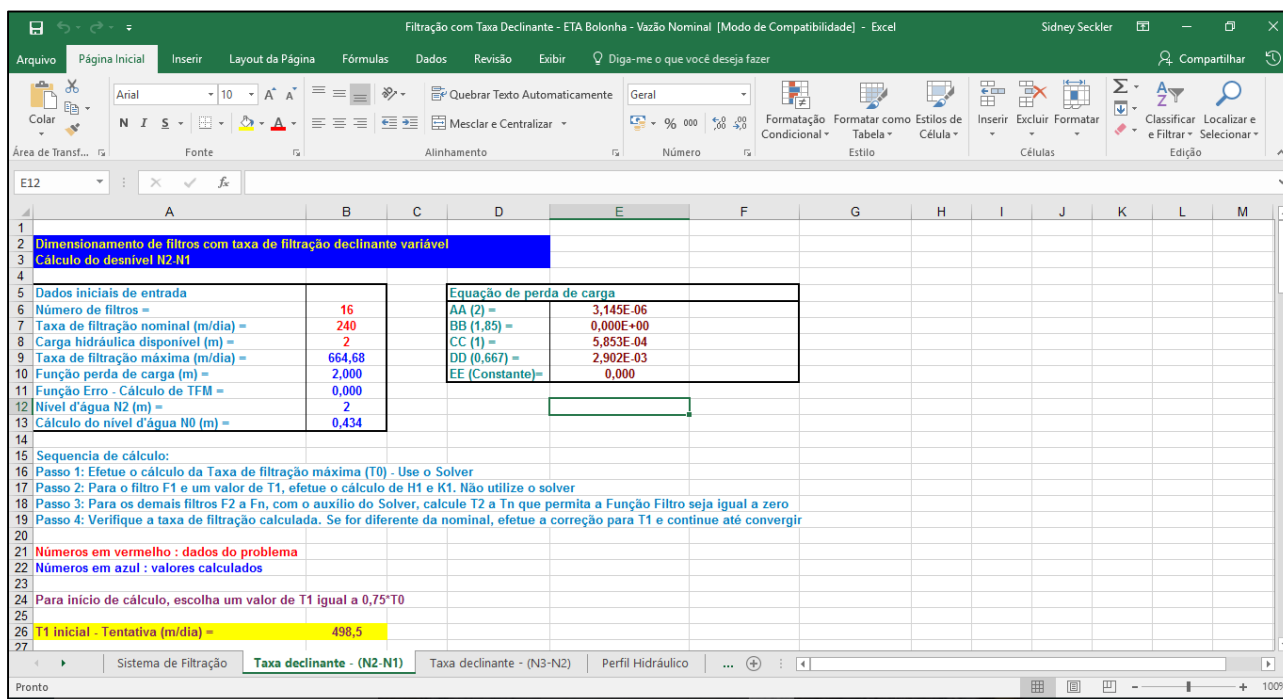
Tabela 5.8 – Cenários de operação do sistema de filtração da ETA Bolonha operando como taxa declinante

Cenário	Vazão (L/s)	Filtros em operação	N.A máximo	N.A do vertedor	Carga hidráulica disponível (m)
1	6.400	16	18,940	16,940	2,00
2	6.700	16	18,940	16,940	2,00

➤ **Cálculo do sistema de filtração trabalhando como taxa declinante – ETA Bolonha**

Os filtros serão dimensionados de acordo com metodologia proposta por DI BERNARDO sendo que os cálculos hidráulicos foram efetuados em planilha EXCEL, estando apresentada a seguir:

Figura 5.10 – Planilha empregada para o cálculo de filtros com taxa declinante variável



A verificação do sistema de filtração com taxa declinante considerou os dois cenários apresentados na Tabela 5.8, tendo-se adotado um valor de carga hidráulica constante e igual a 2,0 metros e a cota do vertedor fixa em 16,940.

Com base nas características hidráulicas do sistema de filtração proposto, foram obtidas as taxas de filtração de operação, bem como a variação do seu nível d'água operacional. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5.9 a 5.11.

Tabela 5.9 – Verificação das unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha operando como taxa declinante para uma vazão igual a 6.400 L/s e dezesseis unidades de filtração em operação

Filtro	Taxas de Filtração (m³/m²/dia)
F1	593,56
F2	524,45
F3	458,47
F4	396,70
F5	340,03

Filtro	Taxas de Filtração (m ³ /m ² /dia)
F6	289,10
F7	244,16
F8	205,13
F9	171,67
F10	143,25
F11	119,30
F12	99,22
F13	82,45
F14	68,47
F15	56,84
F16	47,18

Tabela 5.10 – Verificação das unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha operando como taxa declinante para uma vazão igual a 6.700 L/s e dezesseis unidades de filtração em operação

Filtro	Taxas de Filtração (m ³ /m ² /dia)
F1	597,04
F2	531,20
F3	468,10
F4	408,66
F5	353,70
F6	303,81
F7	259,30
F8	220,17
F9	186,20
F10	157,01
F11	132,12
F12	111,00
F13	93,16
F14	78,13
F15	65,50
F16	54,89

Tabela 5.11 – Verificação dos níveis d’água calculados para as unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha operando como taxa declinante

Cenário	Vazão (L/s)	Filtros em operação	N.A máximo antes da lavagem	N2-N1	N.A máximo depois da lavagem
1	6.400	16	18,940	0,34	18,600
2	6.700	16	18,940	0,32	18,620

Quando a unidade de filtração mais suja for colocada fora de operação para lavagem, deverá ocorrer um aumento do nível d’água na caixa de filtro, bem como deverão aumentar as taxas de filtração nos demais em operação. Do mesmo modo que em operações normais, o cálculo foi efetuado pela Planilha Excel estando apresentada na Figura 5.11. Os resultados de taxas de filtração esperadas para as unidades em operação e a variação do nível d’água na caixa do filtro estão apresentados nos Tabelas 5.12 a 5.14.

Figura 5.11 – Planilha empregada para o cálculo de filtros com taxa declinante variável durante a retirada de um filtro de operação para lavagem

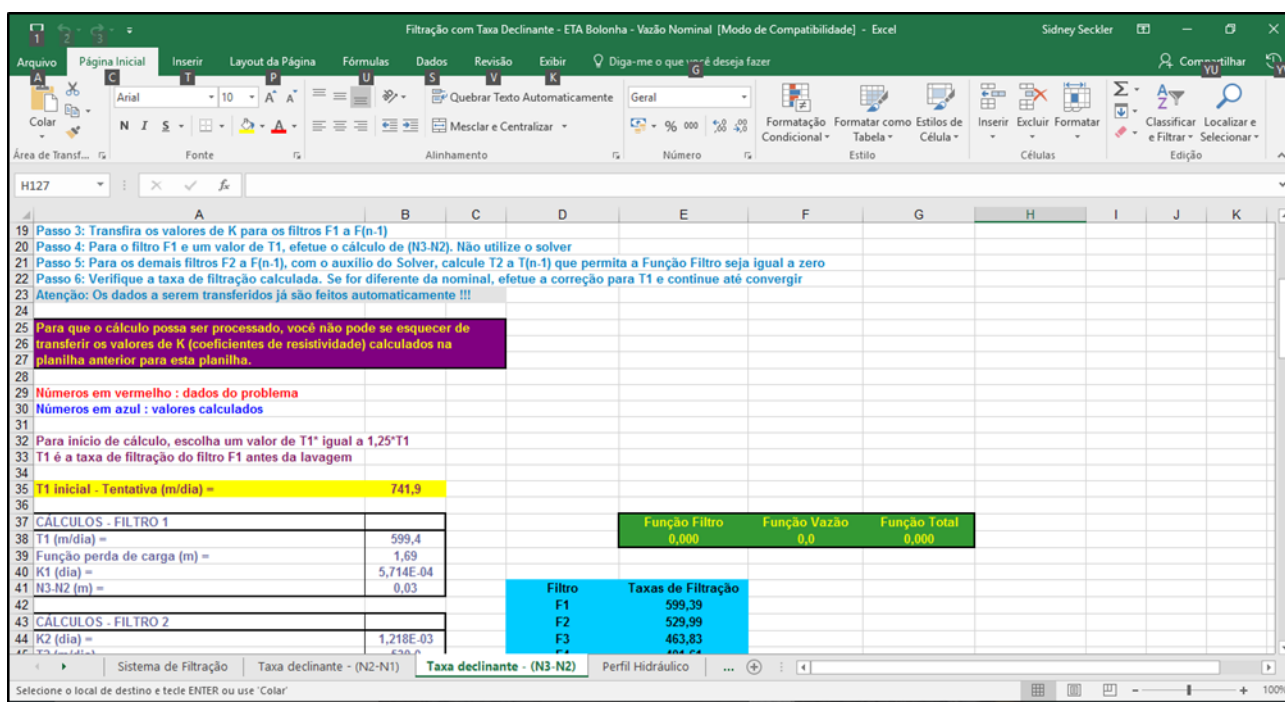


Tabela 5.12 – Verificação das unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha operando como taxa declinante para uma vazão igual a 6.400 L/s e dezesseis unidades de filtração em operação

Filtro	Taxas de Filtração em operação normal (m³/m²/dia)	Taxas de Filtração durante operação de lavagem (m³/m²/dia)
F1	593,56	599,39
F2	524,45	529,99
F3	458,47	463,83
F4	396,70	401,61
F5	340,03	344,38
F6	289,10	292,96
F7	244,16	247,61
F8	205,13	208,04
F9	171,67	174,17
F10	143,25	145,36
F11	119,30	121,07
F12	99,22	100,70
F13	82,45	83,68
F14	68,47	69,50
F15	56,84	57,70
F16	47,18	Em lavagem

Tabela 5.13 – Verificação das unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha operando como taxa declinante para uma vazão igual a 6.700 L/s e dezesseis unidades de filtração em operação

Filtro	Taxas de Filtração em operação normal	Taxas de Filtração durante operação de lavagem (m³/m²/dia)
F1	597,04	603,60
F2	531,20	537,56
F3	468,10	473,97
F4	408,66	414,12
F5	353,70	358,75
F6	303,81	308,37
F7	259,30	263,29
F8	220,17	223,64
F9	186,20	189,25
F10	157,01	159,57
F11	132,12	134,30
F12	111,00	112,84

Filtro	Taxas de Filtração em operação normal	Taxas de Filtração durante operação de lavagem (m ³ /m ² /dia)
F13	93,16	94,72
F14	78,13	79,44
F15	65,50	66,61
F16	54,89	Em lavagem

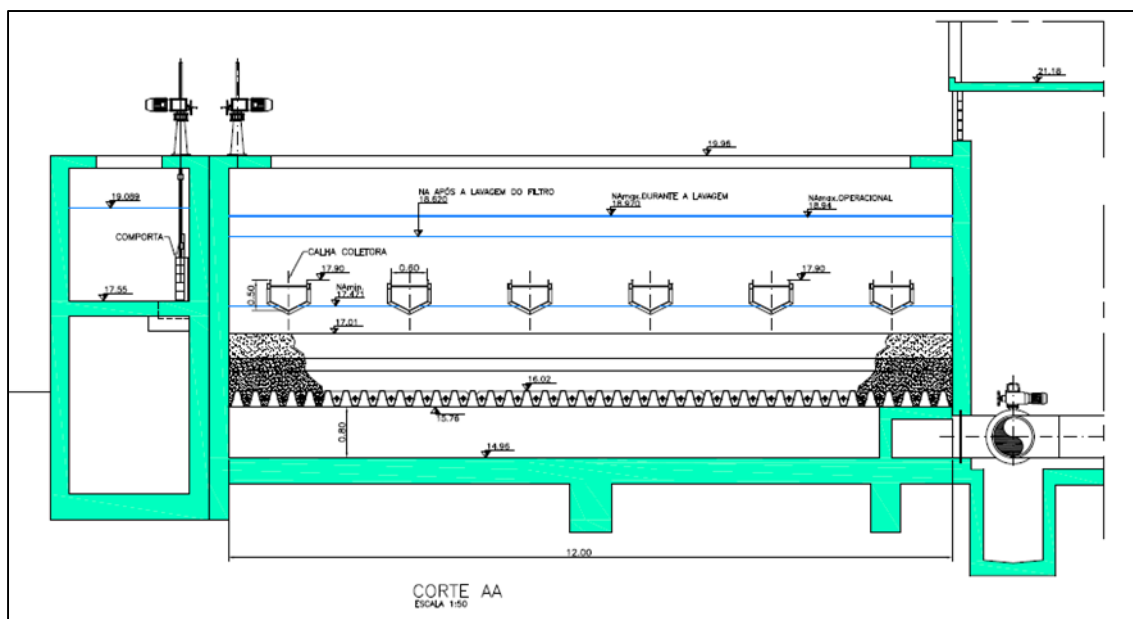
Tabela 5.14 – Verificação dos níveis d'água calculados para as unidades de filtração implantadas na ETA Bolonha operando como taxa declinante durante a lavagem de uma unidade de filtração

Cenário	Vazão (L/s)	Filtros em operação	N.A máximo antes da lavagem	N3-N2	N.A máximo durante a lavagem
1	6.400	16	18,940	0,03	18,970
2	6.700	16	18,940	0,03	18,970

A cota de fundo das calhas de coleta de água decantada é igual a 19,80 e uma vez que os níveis d'água máximo calculados para a caixa do filtro são inferiores a cota do fundo da calha de coleta de água decantada das unidades de sedimentação, tem-se que os decantadores não estarão operando afogados quando qualquer unidade de filtração for retirada de operação para lavagem.

A Figura 5.12 apresenta um corte da unidade de filtração e respectivos níveis d'água esperados durante a carreira de filtração para os filtros operando como taxa declinante, e os respectivos níveis d'água esperados considerando a operação da ETA Bolonha com vazão máxima igual a 6,7 m³/s e dezesseis unidades de filtração trabalhando hidraulicamente como taxa declinante.

Figura 5.12 – Corte de uma unidade de filtração da ETA Bolonha e níveis d'água operacionais esperados considerando a sua operação como taxa declinante



A crista do vertedor de saída de água filtrada está na cota 16,940 e definiu-se uma carga hidráulica disponível máxima para o processo de filtração igual a 2,0 metros. Desta forma, o nível d'água máximo na unidade de filtração antes da lavagem da unidade mais suja da bateria deverá ser igual a 18,940.

A retirada de uma unidade de filtração para lavagem deverá ocasionar um aumento do nível d'água na caixa do filtro, devendo este atingir a cota igual a 18,970. Imediatamente após a sua lavagem, haverá a redução do nível d'água na unidade de filtração para a cota 18,620.

Como o nível d'água na unidade de filtração após a lavagem do filtro mais sujo da bateria deverá ser igual a 18,620 e a cota da geratriz superior da comporta de entrada de água decantada deverá estar na cota 18,160 haverá garantia de que todas as unidades de filtração trabalhem como vasos comunicantes, garantindo desta forma a sua operação como taxa declinante.

➤ **Verificação do sistema de lavagem com ar**

Com relação ao seu sistema de lavagem, tem-se que os filtros implantados em primeira etapa foram projetados com lavagem superficial e lavagem em contra-corrente. Por sua vez, os filtros implantados em segunda etapa foram projetados já se tendo adotado lavagem com ar seguido de água.

Uma das premissas adotadas nas obras de reforma da primeira etapa da ETA Bolonha foi que também as suas unidades de filtração deveriam ser lavadas com ar seguido de água em contracorrente, por apresentar resultados satisfatórios em segunda etapa.

Cada unidade de filtração apresenta duas câmaras com área unitária igual a 72 m². O procedimento para a lavagem da unidade de filtração considera a aplicação de ar de forma independente em cada câmara, ou seja, estas são lavadas de forma isolada. Assumindo uma taxa de aplicação de ar igual a 15 L/s. m², tem-se que a necessidade de ar para a lavagem de uma câmara de filtração deverá ser igual a:

$$Q_{ar} = 15 \frac{L}{s \cdot m^2} \cdot 72 m^2 = 1.080 \frac{L}{s} = 64,8 \frac{m^3}{min}$$

Para tanto, deverá ser previsto a instalação de um sistema de distribuição de ar em cada unidade de filtração com concepção idêntica a dos filtros implantados na segunda etapa, conforme apresentado nas Figuras 5.13 e 5.14.

Figura 5.13 – Planta de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma – Disposição do sistema de distribuição de ar

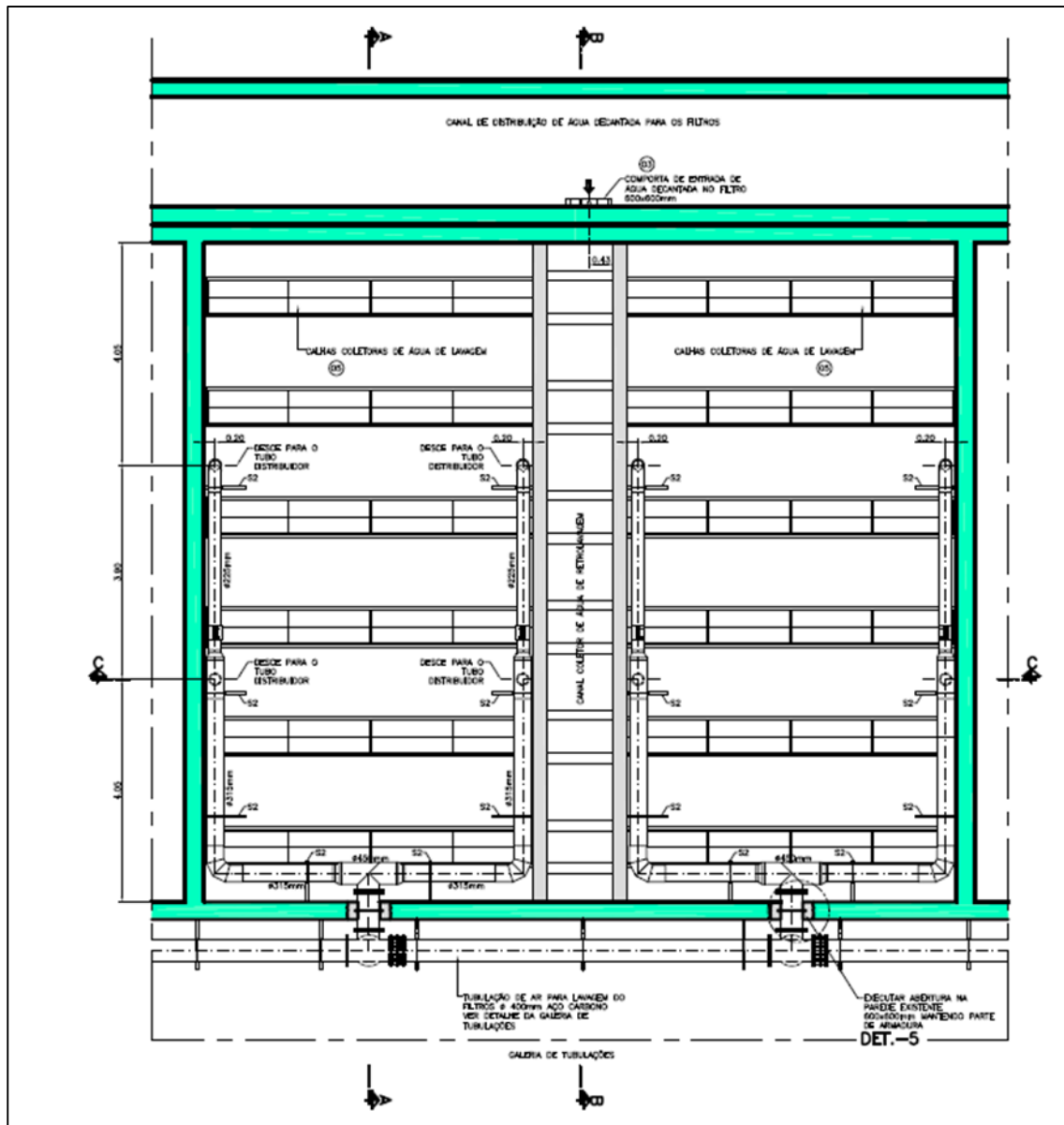
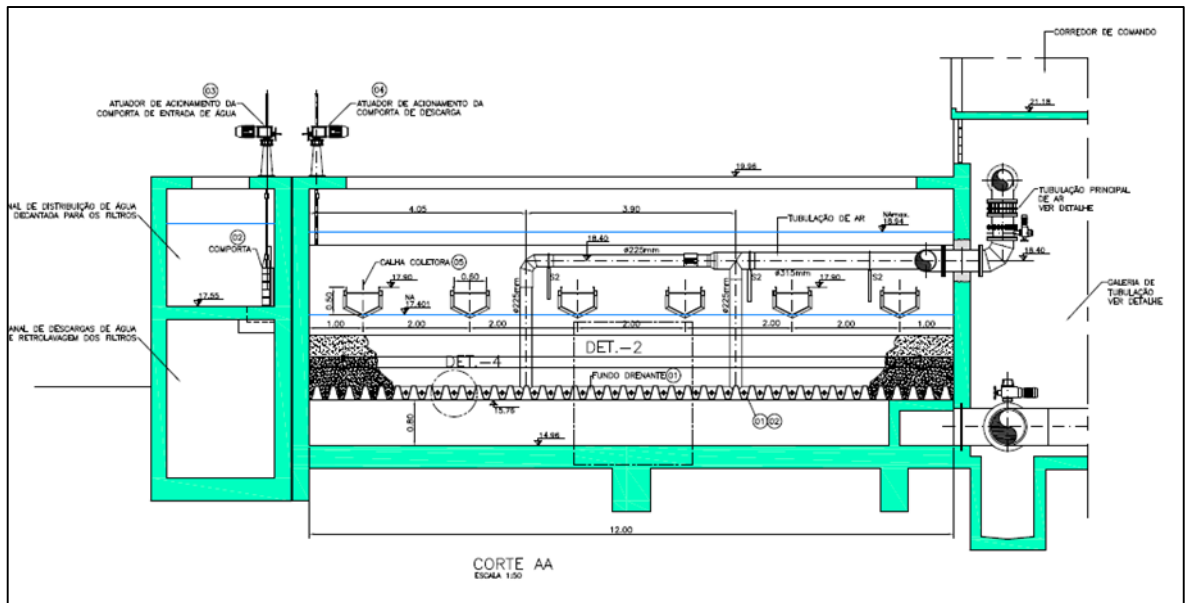


Figura 5.14 – Corte de uma unidade de filtração típica da primeira etapa da ETA Bolonha após as suas obras de reforma – Disposição do sistema de distribuição de ar



O sistema proposto para a primeira etapa deverá ser uma extensão do sistema existente em segunda etapa, onde serão utilizados os mesmos sopradores utilizados, e com a premissa que não poderá haver lavagem simultânea, ou seja, somente uma câmara de filtração por vez. Como os sopradores de ar encontram-se atualmente inoperantes, é necessário destacar que os mesmos sejam devidamente reformados de modo a estarem plenamente operacionais.

É necessário destacar que o projeto de ampliação da ETA Bolonha, na sua segunda etapa, foi elaborado com modificações em relação à primeira etapa, entre elas a dotação de lavagem com ar e água e foi nesse projeto considerada a extensão do sistema de lavagem com ar a partir dos sopradores desenhados para tal finalidade e projetados para esse efeito, como pode ser corroborado com a inclusão da extensão da tubulação de alimentação de ar, que já constava nos desenhos da projetista da segunda etapa.

O fornecimento de ar para a lavagem das unidades de filtração a serem reformadas deverá ser suprido pelos sopradores existentes, sendo que deverá ser ampliada a linha de ar existente, de forma que a mesma possa alimentar as unidades de filtração a serem reformadas (Vide Figuras 5.15 e 5.16).

Figura 5.15 – Vista geral da linha de distribuição de ar para alimentação dos filtros da Etapa 1 a serem reformados

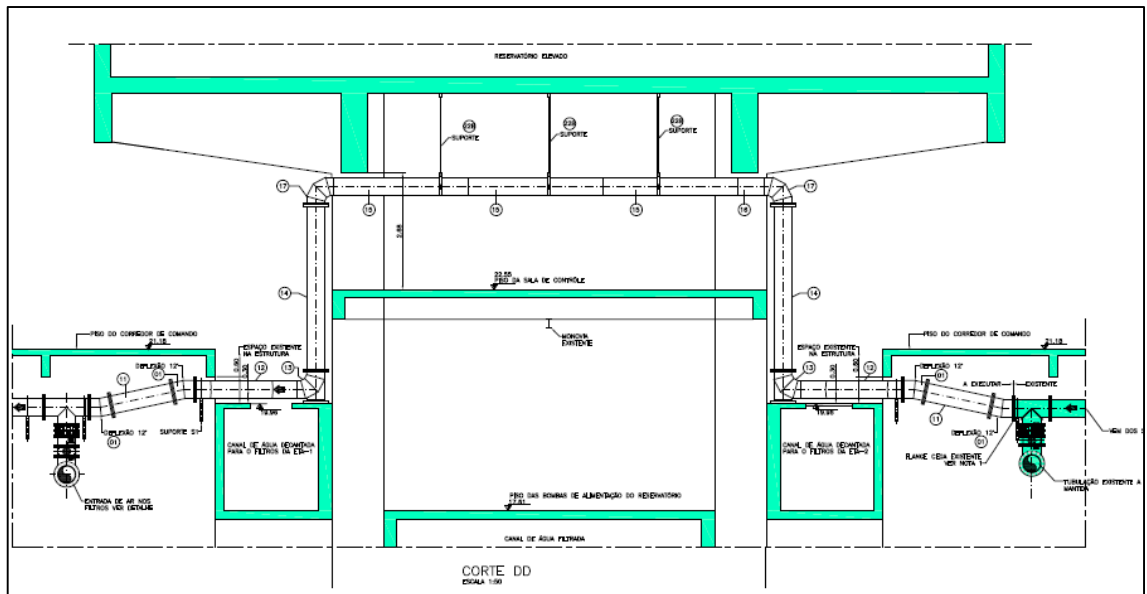
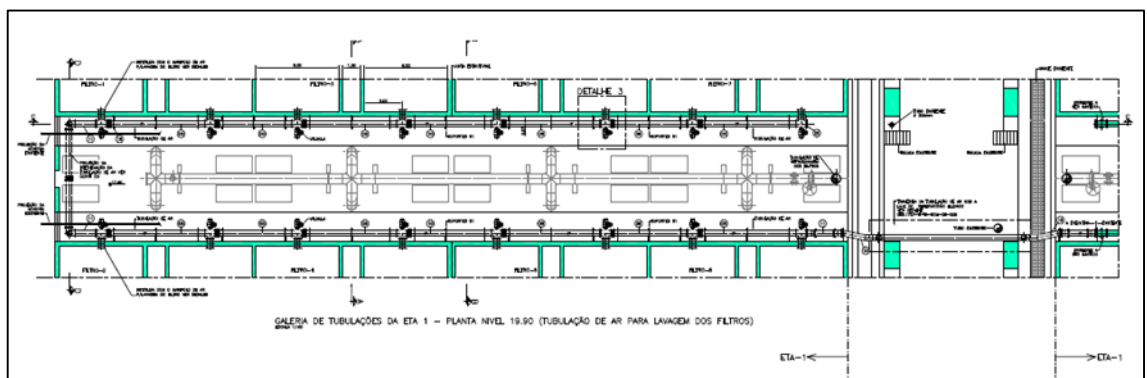


Figura 5.26 – Vista geral da linha de distribuição de ar para alimentação dos filtros da Etapa 1 a serem reformados



Com relação à tubulação de veiculação de ar, deverá ser efetuada uma alteração de caminhamento, de forma que a jusante dos sopradores seja prevista a instalação de um sifão e, assim sendo, uma parte da mesma situe-se sempre em uma cota superior ao nível d'água máximo previsto para as unidades de filtração. Esta modificação se faz necessária de modo que não haja retorno de água para a entrada dos sopradores, evitando-se prejuízos ao bom funcionamento da unidade.

Os sopradores de ar existentes são em número de duas unidades (1O+1R) da marca Omel modelo SRV 1661. De acordo com informações do fabricante, a sua capacidade nominal de fornecimento de ar e pressão máxima de trabalho são iguais a 85 m³/min e 3.000 mbar,

respectivamente. Uma vez que a necessidade de ar para lavagem de cada câmara de filtração é igual a $64,8 \text{ m}^3/\text{min}$, tem-se que a sua capacidade de fornecimento de ar é plenamente adequada.

O sistema de fornecimento de ar deverá ser dotado de um total de 5 trechos com diferentes diâmetros e comprimentos, devendo serem efetuadas verificações com relação a perda de carga na linha para a condição de lavagem da unidade de filtração mais distante. As Figuras 5.17 e 5.18 apresentam um traçado isométrico da linha de fornecimento de ar a partir do soprador até a unidade de filtração mais distante (Figura 5.17) e no interior da unidade de filtração (Figura 5.18).

Os cálculos de perda de carga em linhas de fornecimento de ar devem ser efetuados por meio de processos iterativos, estando os mesmos apresentados nos Tabelas 5.15 a 5.18.

Figura 5.17 – Perfil isométrico da linha de distribuição de ar a partir dos sopradores até a unidade de filtração mais distante

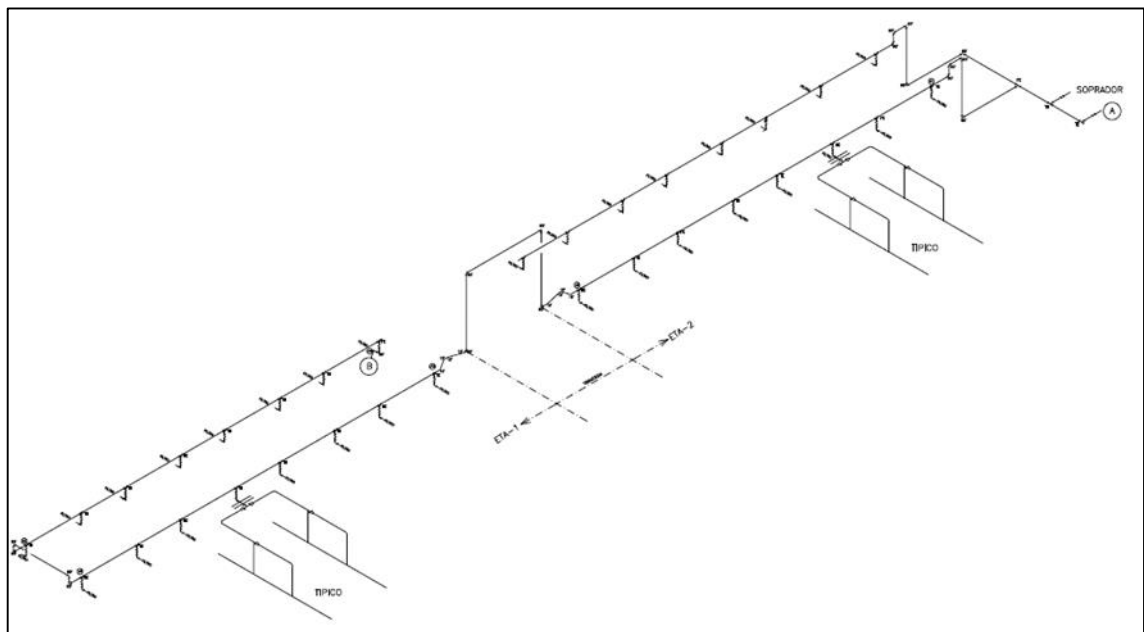


Figura 5.18 – Perfil isométrico da linha de distribuição de ar em cada unidade de filtração a ser reformada

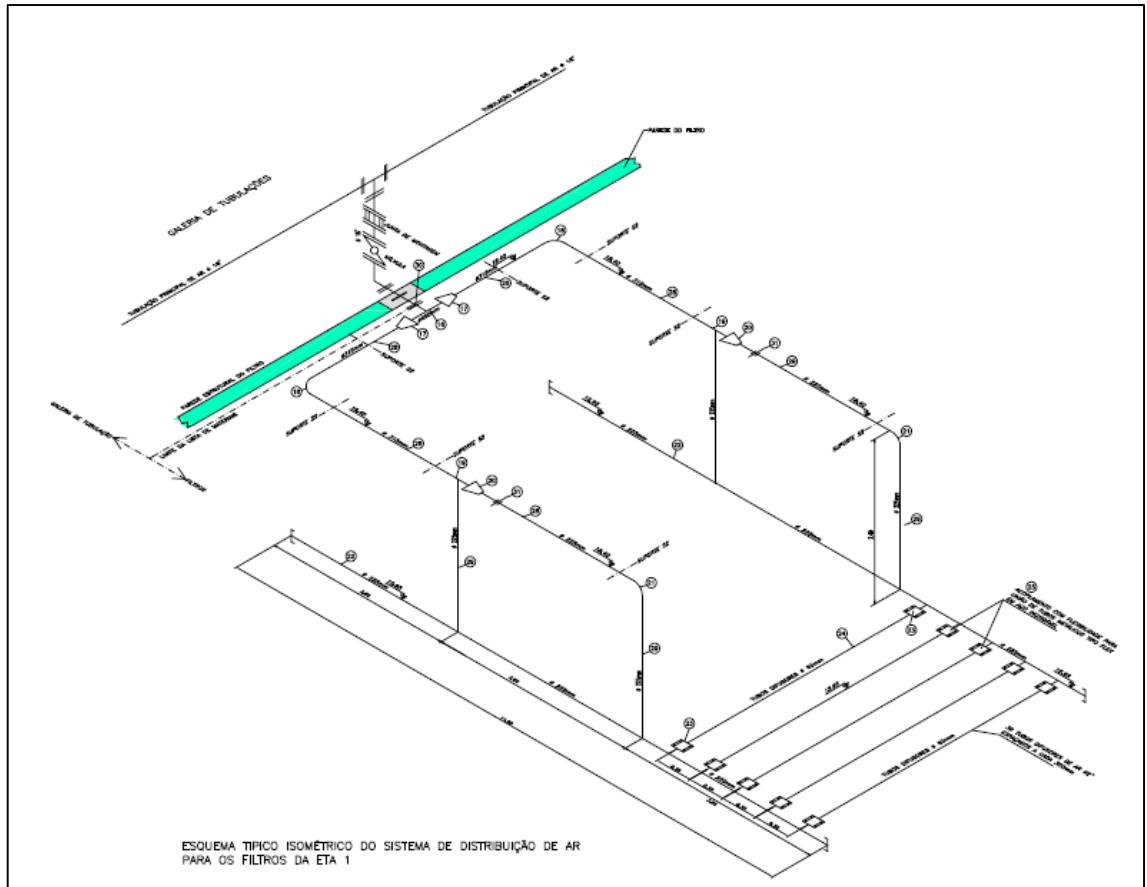


Tabela 5.15 – Cálculo das perdas de carga na linha de fornecimento de ar de diâmetro igual a 400 mm – Saída do soprador até a entrada do filtro

Trecho 1 - Dados de Entrada	
Vazão de ar na aspiração (L/s)=	1080,000
Vazão de ar no recalque (L/s)=	950,595
Diâmetro (mm)=	400
Comprimento real (m)=	242,5
Perdas de carga localizadas	
Entrada de tubulação=	0,50
2 Válvulas borboletas aberta=	1,00
24 Tês passagem direta=	14,4
3 Tês passagem lateral=	3,90
13 Curvas 90o=	5,20
8 Curvas 12o=	0,80
Somatório de K's=	25,8
Trecho 1 - Cálculos	
Vazão (m³/s)=	0,948
Diâmetro (m)=	0,4
Área da tubulação (m²)=	0,126
Diâmetro Hidráulico (m)=	0,400
Velocidade na tubulação (m/s)=	7,548
Número de Reynolds	1,979E+08
Fator de Atrito=	0,0144
Perdas de carga localizadas (metros de ar)=	74,91
Perdas de carga distribuídas (metros de ar)=	25,31
Perdas de carga localizadas (cm de ar)=	7490,97
Perdas de carga distribuídas (cm de ar)=	2530,98
Perdas de carga total (metros de ar)=	100,22
Perdas de carga total (cm de ar)=	10021,95
Perdas de carga total (metros de água)=	0,13
Perdas de carga total (kN/m²)=	1,27

Tabela 5.16 – Cálculo das perdas de carga na linha de fornecimento de ar de diâmetro igual a 300 mm – Tubulação de ar dentro o filtro

Trecho 2 - Dados de Entrada	
Vazão de ar na aspiração (L/s)=	540,000
Vazão de ar no recalque (L/s)=	475,298
Diâmetro (mm)=	300
Comprimento real (m)=	6,4

Perdas de carga localizadas	
Redução de 400-300 mm=	0,15
Curva 90o=	0,40
Tê passagem direta=	0,60
Somatório de K's=	1,15
Trecho 2 - Cálculos	
Vazão (m³/s)=	0,475
Diâmetro (m)=	0,3
Área da tubulação (m²)=	0,071
Diâmetro Hidráulico (m)=	0,300
Velocidade na tubulação (m/s)=	6,724
Número de Reynolds	1,320E+08
Fator de Atrito=	0,0153
Perdas de carga localizadas (metros de ar)=	2,65
Perdas de carga distribuidas (metros de ar)=	0,75
Perdas de carga localizadas (cm de ar)=	265,03
Perdas de carga distribuidas (cm de ar)=	75,13
Perdas de carga total (metros de ar)=	3,40
Perdas de carga total (cm de ar)=	340,16
Perdas de carga total (metros de água)=	0,00
Perdas de carga total (kN/m²)=	0,04

Tabela 5.17 – Cálculo das perdas de carga na linha de fornecimento de ar de diâmetro igual a 200 mm - Tubulação de ar dentro o filtro

Trecho 3 - Dados de Entrada	
Vazão de ar na aspiração (L/s)=	270,000
Vazão de ar no recalque (L/s)=	237,649
Diâmetro (mm)=	200
Comprimento real (m)=	6,4
Perdas de carga localizadas	
Redução de 400-300 mm=	0,15
Curva 90o=	0,40
Tê saída bilateral=	1,80
Somatório de K's=	2,35
Trecho 3 - Cálculos	
Vazão (m³/s)=	0,238
Diâmetro (m)=	0,2
Área da tubulação (m²)=	0,031
Diâmetro Hidráulico (m)=	0,200

Velocidade na tubulação (m/s)=	7,565
Número de Reynolds=	9,901E+07
Fator de Atrito=	0,0167
Perdas de carga localizadas (metros de ar)=	6,85
Perdas de carga distribuídas (metros de ar)=	1,56
Perdas de carga localizadas (cm de ar)=	685,43
Perdas de carga distribuídas (cm de ar)=	155,90
Perdas de carga total (metros de ar)=	8,41
Perdas de carga total (cm de ar)=	841,33
Perdas de carga total (metros de água)=	0,01
Perdas de carga total (kN/m ²)=	0,11

Tabela 5.18 – Cálculo das perdas de carga na linha de fornecimento de ar de diâmetro igual a 200 mm

Trecho 4 - Dados de Entrada	
Vazão de ar na aspiração (L/s)=	135,000
Vazão de ar no recalque (L/s)=	118,824
Diâmetro (mm)=	200
Comprimento real (m)=	4
Perdas de carga localizadas	
Somatório de K's=	0,00
Trecho 4 - Cálculos	
Vazão (m ³ /s)=	0,119
Diâmetro (m)=	0,2
Área da tubulação (m ²)=	0,031
Diâmetro Hidráulico (m)=	0,200
Velocidade na tubulação (m/s)=	3,782
Número de Reynolds	4,951E+07
Fator de Atrito=	0,0167
Perdas de carga localizadas (metros de ar)=	0,00
Perdas de carga distribuídas (metros de ar)=	0,24
Perdas de carga localizadas (cm de ar)=	0,00
Perdas de carga distribuídas (cm de ar)=	24,37
Perdas de carga total (metros de ar)=	0,24
Perdas de carga total (cm de ar)=	24,37
Perdas de carga total (metros de água)=	0,00
Perdas de carga total (kN/m ²)=	0,00

Tabela 5.19 – Cálculo das perdas de carga na linha de fornecimento de ar de diâmetro igual a 200 mm

Trecho 5 - Dados de Entrada	
Vazão de ar na aspiração (L/s)=	13,850
Vazão de ar no recalque (L/s)=	12,191
Diâmetro (mm)=	50
Comprimento real (m)=	2,8
Perdas de carga localizadas	
Somatório de K's=	0,00
Trecho 5 - Cálculos	
Vazão (m³/s)=	0,012
Diâmetro (m)=	0,05
Área da tubulação (m²)=	0,002
Diâmetro Hidráulico (m)=	0,050
Velocidade na tubulação (m/s)=	6,209
Número de Reynolds	2,032E+07
Fator de Atrito=	0,0234
Perdas de carga localizadas (metros de ar)=	0,00
Perdas de carga distribuídas (metros de ar)=	2,58
Perdas de carga localizadas (cm de ar)=	0,00
Perdas de carga distribuídas (cm de ar)=	257,79
Perdas de carga total (metros de ar)=	2,58
Perdas de carga total (cm de ar)=	257,79
Perdas de carga total (metros de água)=	0,00
Perdas de carga total (kN/m²)=	0,03

Efetuando-se a somatória das perdas de carga, tem-se que as mesmas deverão ser iguais a 1,46 kN/m², o que equivale a 0,15 m.c.a. A diferença de cota entre a saída de ar e a geratriz superior da calha de coleta de água de lavagem é igual a 1,9 metros, portanto, tem-se que a pressão mínima de trabalho do soprador deverá ser igual a 2,05 m.c.a, o que equivale a 201 mbar.

Como a pressão máxima de trabalho do soprador instalado é igual a 3.000 mbar, tem-se que o mesmo é plenamente adequado. É importante salientar a necessidade de que seja efetuada uma manutenção geral em ambos os sopradores existentes (parte elétrica e mecânica), de forma que os mesmos possam ser futuramente reaproveitados na lavagem das unidades de filtração.

A água a ser empregada na etapa de lavagem em contra-corrente continuará a ser suprida pelo reservatório elevado localizado na área da ETA. Cada célula de filtração deverá ser

dotada de um total de 6 calhas de coleta de água de lavagem com dimensões unitárias iguais a 600 mm de largura por 420 mm de altura.

Uma vez que a vazão de água de lavagem por câmara de filtração é igual a 750 L/s, tem-se que vazão unitária por calha de coleta de água de lavagem deverá ser igual a 125 L/s.

O nível d'água máximo na calha de coleta de água de lavagem pode ser estimado por intermédio da seguinte expressão:

$$\Delta h = \left(\frac{Q}{1,38.B} \right)^{2/3}$$

- Q= vazão por calha de coleta de água de lavagem em m³/s
- B= largura da calha de coleta de água de lavagem em m
- Δh=nível d'água máximo na calha de coleta de água de lavagem em m

Para uma vazão de 125 L/s, tem-se que o nível d'água máximo de água na calha de coleta de água de lavagem deverá ser de 30,2 cm. Uma vez que a altura máxima da calha é de 42 cm, tem-se que as mesmas são adequadas para a coleta de água de lavagem.

Originalmente, as calhas de coleta de água de lavagem foram construídas em concreto armado. Tendo em vista facilitar a sua instalação e montagem e objetivando maior velocidade em sua implantação, vamos adotar a sua construção em aço carbono. A disposição das calhas em cada célula de filtração, bem como um detalhe típico da mesma encontra-se apresentado nas Figuras 5.19 e 5.20.

Figura 5.19 – Vista geral da disposição das calhas de coleta de água de lavagem em uma das câmaras de filtração

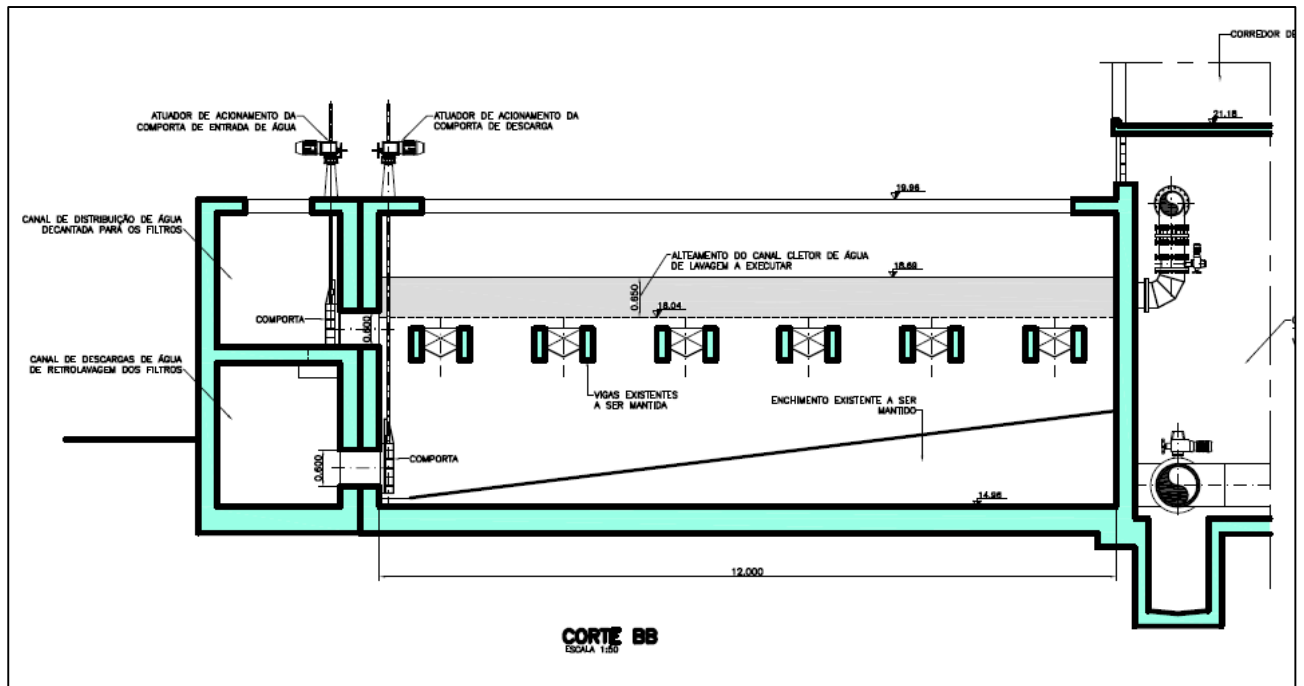
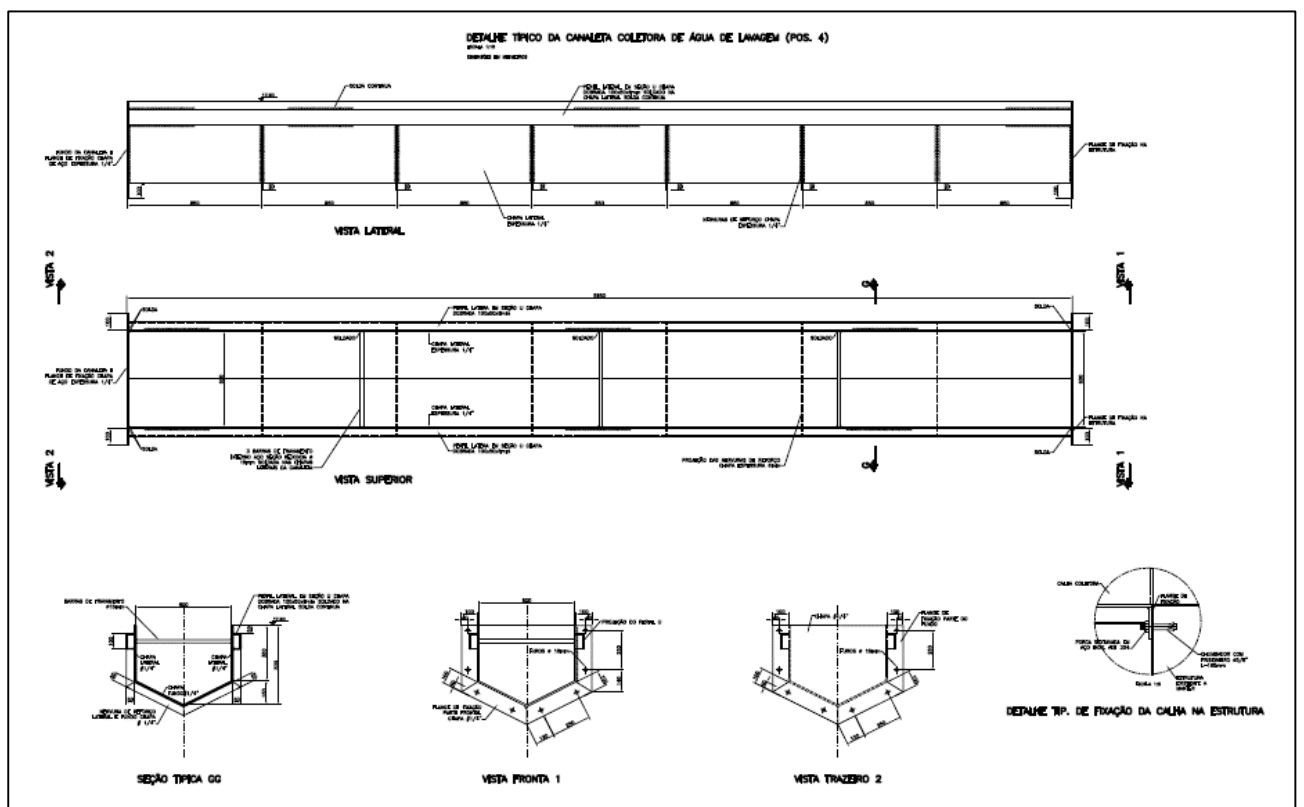


Figura 5.20 – Detalhe das calhas de coleta de água de lavagem a serem instaladas nas unidades de filtração a serem reformadas



4



**INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E
DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS**

6 INTERVENÇÕES SUGERIDAS PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

Conforme exposto no Item 2 “APRESENTAÇÃO DA ETA BOLONHA E DEFINIÇÃO DAS INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS PARA AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRATAMENTO”, o Sistema Produtor Bolonha apresenta algumas limitações em seus sistemas de armazenamento e dosagem de produtos químicos, o que requer que estes sejam devidamente revisados de forma a ser possível o aumento de sua capacidade de produção de água para 6,4 m³/s. A seguir efetua-se uma descrição do sistema de dosagem de produtos químicos existentes e suas principais limitações, bem como as alterações sugeridas.

6.1 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E APLICAÇÃO DE COAGULANTES

Atualmente, a ETA Bolonha emprega o cloreto de polialumínio (PAC) como coagulante, sendo este adquirido na forma líquida com uma concentração igual a 23% (como Al₂O₃). O atual sistema de armazenamento é dotado de dois tanques com capacidade individual igual a 50 m³ cada, conforme apresentado na Figura 6.1.

O controle da dosagem de coagulante é efetuado por meio de duas bombas dosadoras específicas localizadas no prédio anexo a área da ETA (Figura 6.2), sendo uma unidade em operação e a segunda como reserva (1O+1R). A aplicação do coagulante na fase líquida é efetuada diretamente na adutora de água bruta por meio de uma inserção na mesma, sem que ocorra a sua dispersão adequada na fase líquida (Figura 6.3).

Figura 6.1 – Tanques de armazenamento de coagulante (PAC) com capacidade individual igual a 50 m³ cada



Figura 6.2 – Bombas dosadoras de coagulante em operação na ETA Bolonha



Figura 6.3 – Ponto de aplicação de coagulante diretamente na adutora de água bruta



Com base no exposto, torna-se necessário uma revisão no sistema de dosagem de coagulante, estando previstas as seguintes intervenções, a saber:

- Revisão do sistema de estocagem de coagulante, prevendo-se a sua ampliação com vistas ao atendimento de sua condição futura de operação com vazão afluyente igual a 6,4 m³/s.
- Implantação de uma nova sala de bombas dosadores e respectivos painéis elétricos
- Revisão do traçado das linhas de transporte de coagulante líquido com o objetivo de minimizar a sua passagem dentro da área da ETA Bolonha
- Revisão do sistema de dispersão de coagulante na fase líquida por meio da implantação de um difusor diretamente na adutora de água bruta e sistema de diluição do coagulante.

6.2 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E APLICAÇÃO DE AGENTE PRÉ E PÓS ALCALINIZANTE

O sistema de pré e pós-alcalinização foi inicialmente concebido admitindo-se o emprego de cal hidratada, sendo este adquirido e estocado na forma sólida. A sua utilização contemplava o preparo de suspensão de cal hidratada a 5% a 10% em tanques de preparação e posterior envio aos respectivos pontos de aplicação. O sistema de pré e pós alcalinização encontra-se atualmente desativado, conforme se observa na Figura 6.4.

Figura 6.4 – Sistema de preparação de suspensão de cal hidratada como agente pré e pós alcalinizante desativado



Como consequência de sua desativação, atualmente, a ETA Bolonha não tem possibilidade de efetuar o controle do pH de coagulação bem como do pH da água tratada, o que impõem uma grande limitação na operação de seus processos unitários. Desta forma, é de grande relevância que o sistema de pré e pós-alcalinização seja totalmente reabilitado, o que deverá compreender as seguintes alterações principais, a saber:

- Implantação de um novo sistema de estocagem e dosagem de agente pré e pós alcalinizante mediante a sua modificação de cal hidratada para soda cáustica a 50%.
- Implantação de um novo sistema de dosagem de soda cáustica a 50% na forma de pré e pós alcalinizante dotado de bombas dosadoras a serem instaladas em uma nova sala de bombas em anexo ao sistema de estocagem de produtos químicos.
- Revisão das novas linhas de transporte de soda cáustica a 50% para os respectivos pontos de aplicação no processo de tratamento, incluindo o seu sistema de diluição.
- Concepção de um novo sistema de dispersão de soda cáustica na fase líquida por meio da implantação de um difusor diretamente na adutora de água bruta (pré-alcalinização) e por meio de calha difusora no canal geral de água filtrada (pós-alcalinização).

6.3 6.3 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E APLICAÇÃO DE POLÍMERO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO

O Sistema Produtor Bolonha efetua a aplicação de polímero como auxiliar de floculação, sendo que seu ponto de dosagem é situado imediatamente a jusante da Calha Parshall, conforme apresentado na Figura 6.5.

Conforme se pode observar, a sua aplicação não é efetuada de forma homogênea na fase líquida, não havendo a sua distribuição de forma adequada ao longo da largura do canal de água coagulada.

O polímero empregado no processo de tratamento é adquirido em emulsão em tanques com capacidade igual a 1,0 tonelada. O seu armazenamento é atualmente efetuado sobre a laje do canal geral de água filtrada e sua dosagem controlada por bomba dosadora do tipo peristáltica. A Figura 6.6 apresenta uma vista geral dos tanques de polímero em emulsão, sendo uma unidade em operação e uma reserva.

Figura 6.5 – Ponto de aplicação de polímero como auxiliar de floculação imediatamente a jusante da Calha Parshall



Figura 6.6 – Tanques de polímero em emulsão em operação na ETA Bolonha



Dentre as principais deficiências observadas no sistema de armazenamento e dosagem de polímero como auxiliar de floculação ressaltam-se as seguintes:

- A sua aplicação não é efetuada de forma homogênea e regular na fase líquida
- O local de armazenamento dos tanques de polímero é inadequado em razão de grandes dificuldades observadas no seu descarregamento

Em razão do exposto, devem ser propostas modificações no sistema de estocagem e dosagem de polímero, a saber:

- Deverá ser previsto uma nova área coberta para o armazenamento e estocagem dos tanques de polímero, devendo ser mantido a opção por polímero em emulsão em razão de sua maior facilidade de dosagem.
- Implantação de um sistema de distribuição de solução de polímero no canal de água coagulada, mantendo-se os atuais pontos de aplicação
- Como os tanques de armazenamento de polímero deverão ser localizados em uma nova área externa à área da ETA, as linhas de condução de solução de polímero terão que ser revistas

6.4 SISTEMA DE CLORAÇÃO

O projeto original da ETA Bolonha considerou a aplicação de cloro na forma de pré-cloração e pós-cloração. Atualmente, o sistema de aplicação de cloro na forma de pré-cloração encontra-se desativado, sendo apenas efetuada a sua dosagem na fase líquida na forma de pós-cloração. Considerando a importância de se garantir plenas condições de funcionamento do sistema de cloração, prevê-se a sua reforma de modo que a sua concepção original possa ser novamente implantada.

O cloro é recebido no Sistema Produtor Bolonha na forma de cilindros de 900 kg, sendo que a sua extração é efetuada na forma líquida. Atualmente, a concepção do sistema contempla um total de quatro cilindros em operação e mais quatro unidades em “stand-by”. A sala de cilindros de cloro ainda permite a estocagem de pelo menos mais 10 unidades como reserva. A Figura 6.7 apresenta uma vista geral dos cilindros de cloro em operação na ETA Bolonha.

Figura 6.7 – Vista geral da sala de cilindros de cloro em operação na ETA Bolonha



Atualmente, a ETA Bolonha possui um total de dois evaporadores de cloro e mais dois cloradores com capacidade individual igual a 200 kg Cl₂/h. As Figuras 6.8 e 6.9 apresentam uma vista de ambos os equipamentos. Como não é efetuada a aplicação de cloro na forma de pré-cloração, ambos os cloradores estão em operação somente para a pós-cloração, sendo uma unidade em operação e a segunda como reserva (1O+1R).

Figura 6.8 – Vista geral dos evaporadores de cloro em operação na ETA Bolonha

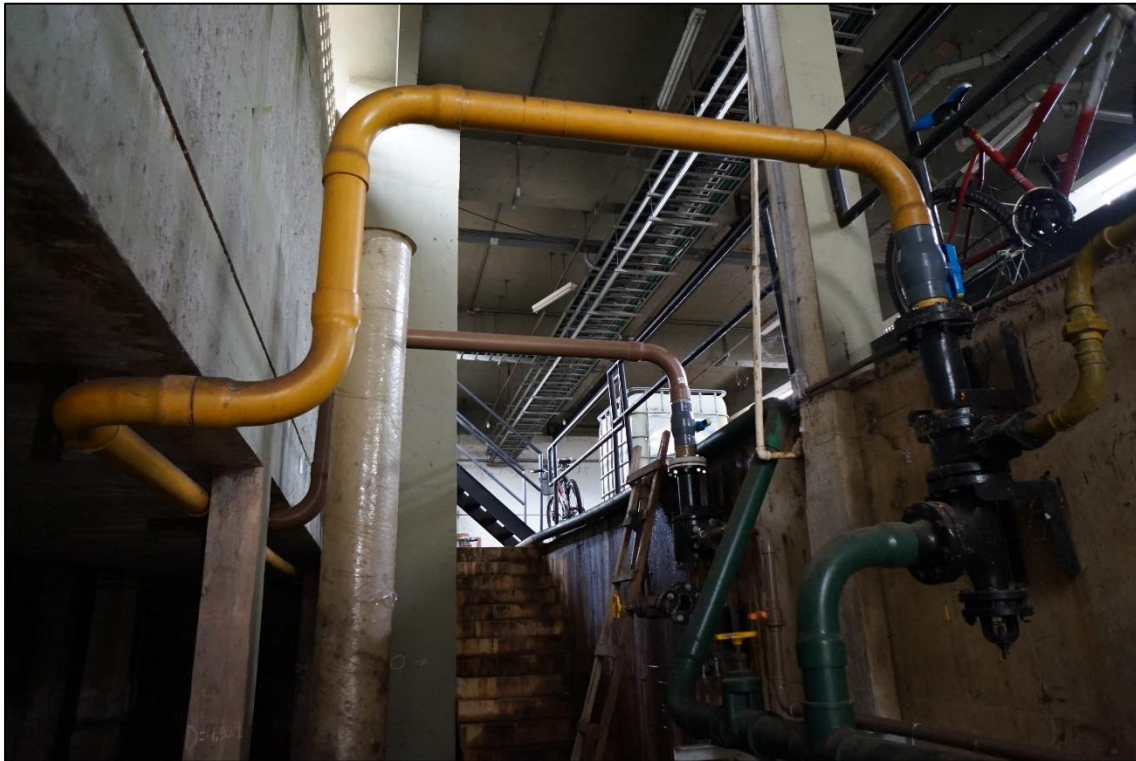


Figura 6.9 – Vista geral dos cloradores em operação na ETA Bolonha



O sistema de alimentação de água de arraste também se encontra desativado, uma vez que todas as bombas de recalque se encontram danificadas. Atualmente, a água para alimentação dos injetores de cloro é oriunda do reservatório elevado, sendo esta encaminhada por gravidade ao injetor em operação (Figura 6.10).

Figura 6.10 – Injetor de cloro em operação para a pós-cloração na ETA Bolonha alimentado com água filtrada oriunda do reservatório elevado



As principais modificações a serem efetuadas no sistema de cloração compreendem as seguintes intervenções, a saber:

- Reativação do sistema de pré-cloração mediante a implantação de uma nova linha de cloro que deverá prever a sua dosagem diretamente na caixa de chegada de água bruta.
- Implantação de mais um clorador, possibilitando a operação de uma unidade para a pré-cloração, uma unidade exclusiva para a pós-cloração e uma unidade reserva, podendo atender tanto a pré como a pós-cloração.
- Redefinição das linhas de alimentação de cloro gasoso aos cloradores de forma a garantir total flexibilidade em sua operação, de forma que qualquer unidade possa trabalhar tanto na pré como na pós-cloração.
- Implantação de um sistema exclusivo de fornecimento de água de arraste para ambos os injetores de cloro da pré e pós-cloração compreendendo duas bombas (1O+1R) para

alimentação do injetor da pré-cloração e mais duas bombas (1O+1R) para alimentação do injetor da pós-cloração.

6.5 SISTEMA DE FLUORETAÇÃO

O Sistema Produtor Bolonha não possui nenhum sistema de fluoretação atualmente implantado. Desta forma, a revisão do sistema de armazenamento e dosagem de produtos químicos deverá contemplar a implantação de um sistema de fluoretação mediante a dosagem de ácido fluossilício diretamente no canal geral de água filtrada a montante do vertedor Creager.



DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

7 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Tendo por finalidade permitir a estocagem, na dosagem de produtos químicos e controle do processo de tratamento de água deverá ser prevista a construção de uma estrutura para estocagem e dosagem de produtos químicos que deverá ser localizada em área externa e fora dos prédios que fazem parte do bloco hidráulico da ETA Bolonha. A Figura 7.1 apresenta a área de implantação do sistema de produtos químicos concebido para a ETA Bolonha.

Desta forma, objetiva criar uma nova área de estocagem de produtos químicos que procure interferir o mínimo possível na operação do processo de produção de água. Os produtos químicos a serem utilizados na ETA Bolonha e seus respectivos pontos de aplicação deverão ser os seguintes:

➤ **Coagulantes**

- Cloreto de polialumínio líquido a 23%: aplicado diretamente na adutora de água bruta por meio de um difusor horizontal
- Sulfato de alumínio líquido a 50%: aplicado diretamente na adutora de água bruta por meio de um difusor horizontal

➤ **Agente Pré e Pós Alcalinizante**

- Solução de soda cáustica a 50% (ajuste do pH coagulação): aplicado diretamente na adutora de água bruta por meio de um difusor horizontal
- Solução de soda cáustica a 50% (correção final do pH): no canal geral de água filtrada a montante do vertedor Creager e distribuído por meio de uma calha difusora

➤ **Auxiliar de Floculação**

- Polímero em emulsão como auxiliar de floculação: na estrutura de chegada de água coagulada imediatamente a jusante da Calha Parshall

➤ **Sistema de Cloração**

- Cloro (pré-cloração) na forma de cloro liquefeito: na estrutura de chegada de água bruta
- Cloro (pós-cloração) na forma de cloro liquefeito: no canal geral de água filtrada imediatamente a montante do vertedor Craeger

➤ **Fluoretação**

- Flúor na forma de ácido fluossilícico: no canal geral de água filtrada a montante do vertedor Creager e distribuído por meio de uma calha difusora

A Figura 7.2 apresenta um fluxograma do sistema de dosagens de produtos químicos (coagulante, pré e pós alcalinizante e ácido fluossilícico) a serem implantados na ETA Bolonha, apresentando-se os seus pontos de aplicação, capacidade dos tanques de estocagem e respectivas bombas dosadoras.



Figura 7.1 Vista geral da implantação do sistema de armazenagem e dosagem de produtos químicos a serem implantados na ETA Bolonha

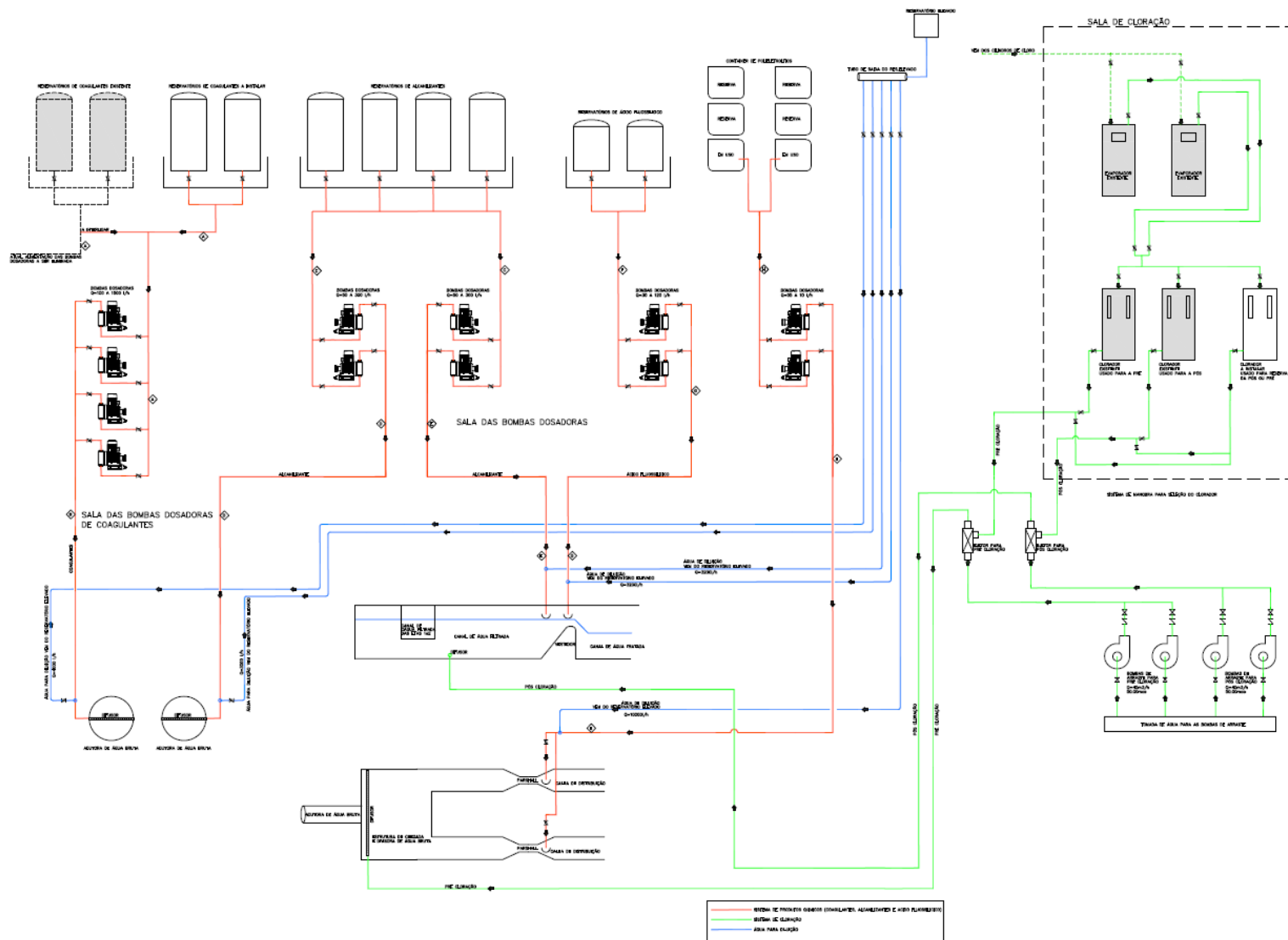


Figura 7.2 Fluxograma do sistema de dosagens de produtos químicos a serem empregados na ETA Bolonha

A verificação da capacidade das bombas dosadoras para a dosagem de produtos químicos na vazão afluente e efluente a ETA Bolonha será efetuada para as vazões mínima e máxima iguais a 5.000 L/s e 6.400 L/s, respectivamente. Estimam-se as seguintes dosagens mínima, média e máxima de produtos químicos apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 Dosagens de produtos químicos estimados para a ETA Bolonha

Produto Químico	Dosagens		
	Mínima	Média	Máxima
Sulfato de alumínio	4,0	8,0	40,0
PAC	6,0	10,0	40,0
Cloro – Pré-cloração	1,0	2,0	4,0
Cloro – Pós cloração	1,0	2,0	4,0
Soda cáustica - Pré	2,0	5,0	7,5
Soda Cáustica – Pós	2,0	5,0	7,5
Polímero – Auxiliar de floculação	0,05	0,15	0,3
Ácido fluossilícico	0,6	0,8	1,0

Conforme já dito anteriormente, para cada produto químico, serão calculados, a seguir, os consumos diários com base nas dosagens médias aplicadas na água e as vazões das bombas dosadoras com base nas dosagens mínima, média e máxima.

$$C_{pq} = Q \cdot D_{pq}$$

- C_{pq} =Consumo do produto químico (MT^{-1})
- Q =vazão média (LT^{-3})
- D_{pq} =dosagem média do produto químico (ML^3)

$$Q_b = \frac{Q \cdot D}{(C_s \cdot \rho - D)}$$

- Q_b =vazão da bomba dosadora (L^3T^{-1})
- Q =vazão média (L^3T^{-1})
- D =dosagem mínima, média e máxima do produto químico (M^3T^{-1})
- C_s =concentração da solução do produto químico expresso como massa de produto disponível por massa de produto comercial

- ρ =massa específica da solução do produto químico em kg/m^3

As características dos produtos comerciais adotadas no cálculo são valores médios de mercado, podendo apresentar variações. Estas variações são relativamente pequenas e eventuais diferenças deverão ser compensadas mediante um dimensionamento com folga tanto nos sistemas de estocagem como nos sistemas de dosagem.

O dimensionamento dos sistemas de dosagem de produtos químicos será efetuado em forma de tabelas, estando as mesmas apresentadas a seguir.

7.2 CÁLCULO DO CONSUMO DE COAGULANTES - SULFATO DE ALUMÍNIO A 50% E PAC A 23%

Tabela 7.2 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de coagulante (sulfato de alumínio líquido recebido a 50%

Sulfato de Alumínio		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
	5000	6400
Dosagens – expressa como sal (mg/L)		
Mínima	4,0	4,0
Média	8,0	8,0
Máxima	40,0	40,0
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	1728,0	2211,8
Média	3456,0	4423,7
Máxima	17280,0	22118,4
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	3456,0	4423,7
Média	6912,0	8847,4
Máxima	34560,0	44236,8
Massa específica do produto (Kg/m ³)	1320,0	1320
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	109,1	139,6
Média	218,2	279,3
Máxima	1091,0	1396,4
Autonomia (dias)	20	20
Estocagem (m ³)	104,73	134,5

Tabela 7.3 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de coagulante (PAC líquido recebido a 23%)

Cloreto de Polialumínio		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como produto comercial (mg/L)		
Mínima	6,0	6,0
Média	10,0	10,0
Máxima	40,0	40,0
Consumo diário de produto puro (kg Al₂O₃/dia)		
Mínima	596,2	763,1
Média	993,6	1271,8
Máxima	3974,4	5087,2
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	2592,0	3317,8
Média	4320,0	5529,6
Máxima	17280,0	22118,4
Massa específica do produto (Kg/m ³)	1350	1350
Vazões de Dosagem (L/h)		
Mínima	80,0	102,4
Média	133,3	107,7
Máxima	533,3	682,7
Autonomia (dias)	20,0	20,0
Estocagem (m ³)	64,0	81,92

Para uma autonomia de 20 dias e vazão afluente a ETA Bolonha igual a 6.400 L/s, a necessidade de estocagem de coagulante deverá ser igual a 134 m³ para o sulfato de alumínio líquido com 50% de concentração e 82 m³ para o PAC líquido recebido a 23%. Atualmente, o sistema de estocagem de coagulante conta com um total de dois tanques de armazenamento com capacidade individual igual a 50 m³ cada, o que totaliza um volume total igual a 100 m³.

Considerando a necessidade de oferecer maior flexibilidade operacional a ETA Bolonha, propõe-se a implantação de mais dois tanques para estocagem de coagulante com capacidade igual a 50 m³ cada. Portanto, para a condição de vazão de final de plano, ter-se-á um total de quatro tanques com capacidade individual igual a 50 m³ cada, totalizando uma capacidade de reserva igual a 200 m³.

As bombas dosadoras deverão ter a capacidade para atendimento da vazão afluente a ETA Bolonha, podendo-se adotar a aquisição de quatro bombas, sendo uma reserva (3O+1R), cada uma para dosar vazões entre 100 L/h a 500 L/h. Em caso de necessidade de aumento na dosagem de coagulante, em condições esporádicas, pode-se colocar a bomba reserva em funcionamento, o que possibilitará uma vazão máxima de dosagem em torno de 2.000 L/h.

Os tanques de armazenamento de coagulante deverão ser implantados em área externa e protegidos por tanques de contenção, conforme apresentado nas Figuras 7.3 e 7.4.

Figura 7.3 - Planta de implantação dos tanques de armazenamento de coagulante – Sulfato de alumínio líquido a 50%

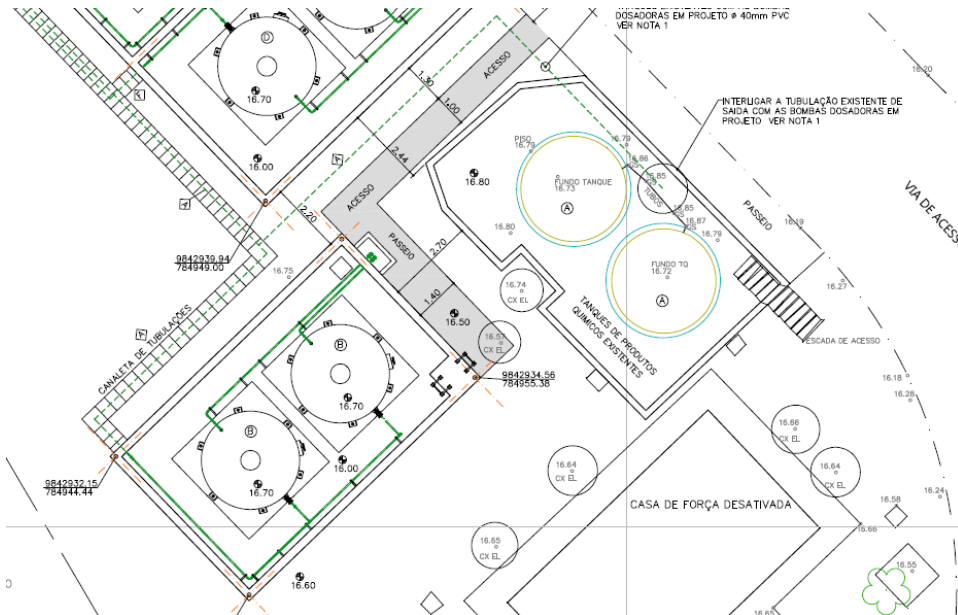
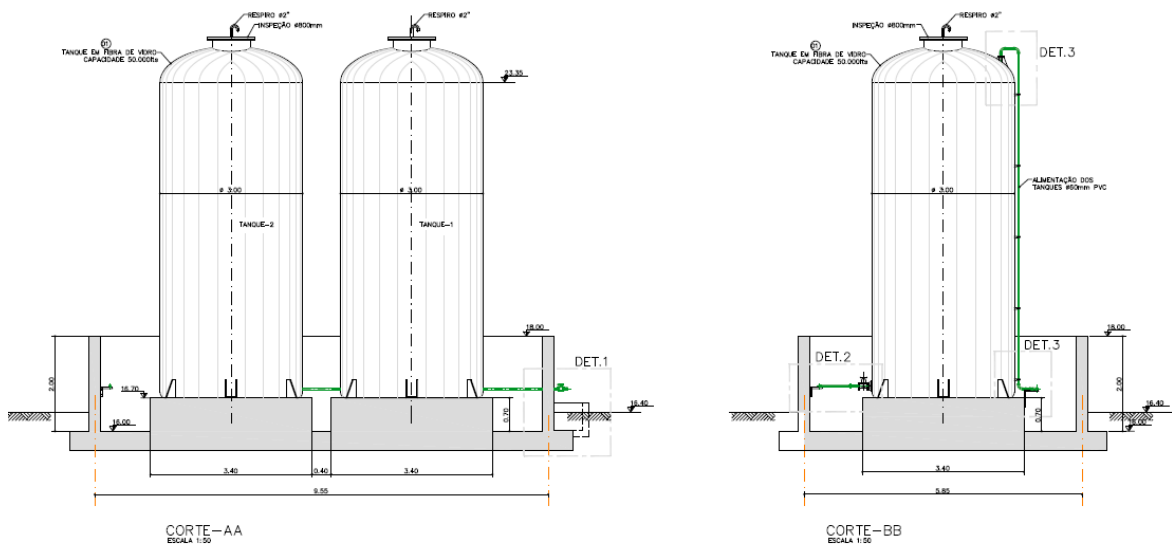


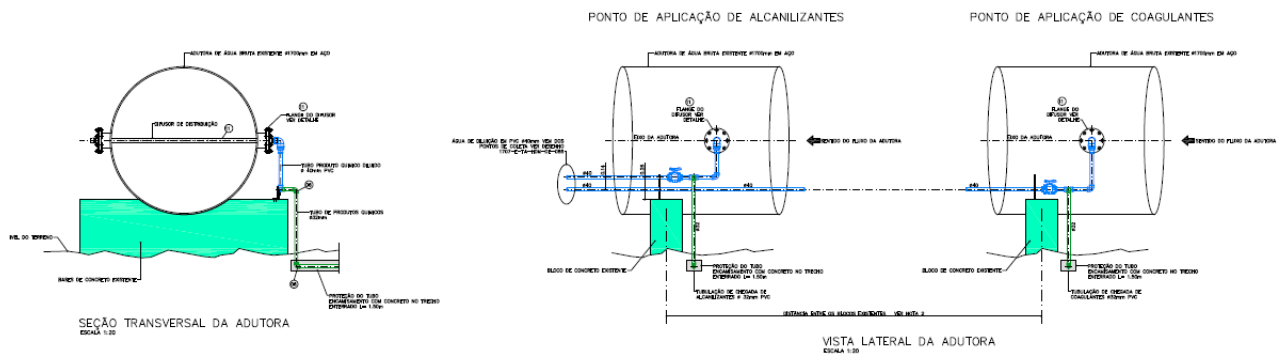
Figura 7.4 - Corte dos tanques de armazenamento de coagulante – Sulfato de alumínio líquido a 50%



A linha de condução do coagulante até o seu ponto de aplicação deverá apresentar um novo traçado, evitando-se a sua passagem dentro da área da ETA, conforme é efetuado atualmente. O novo traçado das linhas de coagulante e pré-alcalinizante deverá permitir que ambas caminhem na área externa da ETA inseridas em uma canaleta de transporte de produtos químicos e adentrando pela primeira galeria situada entre as unidades de floculação e sedimentação da ETA 1 (Primeira Etapa).

A partir daí a aplicação do coagulante deverá ser efetuado mediante a inserção de um difusor horizontal diretamente na adutora de água bruta. Como a adutora de água bruta apresenta um diâmetro igual a 1.750 mm, a implantação do difusor deverá ser efetuada na horizontal, de modo que o mesmo possa ser devidamente ancorado na tubulação. A Figura 7.5 apresenta um detalhe do difusor de coagulante a ser implantado na adutora de água bruta para a dispersão do coagulante na fase líquida.

Figura 7.5 – Detalhe do difusor de coagulante a ser implantado na adutora de água bruta



Com base nas vazões mínima e máxima estimada para a dosagem de coagulante (PAC ou sulfato de alumínio líquido), tem-se que os seus valores deverão situar entre 80 L/h e 1.500 L/h. Como estas vazões são bastante reduzidas, a dispersão do coagulante na fase líquida por meio do difusor não deverá ocorrer de forma adequada, o que deverá exigir a pré-diluição do coagulante imediatamente a montante do ponto de aplicação.

As premissas adotadas para o dimensionamento do difusor de coagulante estão apresentadas na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Parâmetros adotados para o dimensionamento do difusor de coagulante e necessidade de água de diluição

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão de água bruta (L/s)	-	6400
Vazão mínima de coagulante (L/hora)	-	800
Vazão máxima de coagulante (L/hora)	-	1500
Velocidade do jato (m/s)	1,0 a 3,0	1,0
Diâmetro dos orifícios (mm)	>3,0	6,3
Coefficiente de vazão dos orifícios	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m)	-	1,5
Espaçamento entre orifícios (cm)	10,0 a 15,0	15,0
Concentração mínima da mistura H ₂ O e coagulante (kg/m ³)	10,0 a 50,0	10
Velocidade adotada para a solução de coagulante (m/s)	0,2 a 1,0	0,5
Velocidade adotada para a água de diluição (m/s)	1,0 a 2,0	1,5
Velocidade adotada para o difusor (m/s)	0,5 a 2,0	0,5

As principais premissas adotadas para o difusor deverá ser a disposição dos orifícios com espaçamento não superior a 5 cm e velocidade do jato da mistura coagulante e água de diluição não inferior a 1,0 m/s. O diâmetro dos orifícios deverá ser igual a 6,3 mm de forma a se evitar o seu entupimento com impurezas oriundas da solução de coagulante. Os cálculos e verificações do dimensionamento do difusor de coagulante e cálculo das vazões mínimas de diluição estão apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 - Dimensionamento efetuado para o difusor de coagulante e cálculo das vazões de água de diluição

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	30
Número de orifícios adotado: 30	
Espaçamento entre orifícios (cm):	5
Área total dos orifícios (m ²):	0,000935146
Velocidade mínima do jato sem diluição (m/s):	0,024
Velocidade máxima do jato sem diluição (m/s):	0,446
Verificação da velocidade mínima do jato:	Rever !!!
Verificação da velocidade máxima do jato:	Rever !!!
Vazão mínima requerida para água de diluição (L/h):	1866,53
Vazão máxima requerida para água de diluição (L/h):	3286,53
Vazão de água de diluição adotado (L/h): 4000	
Vazão mínima da mistura (H ₂ O + coagulante) (L/h):	4080
Vazão máxima da mistura (H ₂ O + coagulante) (L/h):	5500
Velocidade mínima do jato com diluição (m/s):	1,21
Velocidade máxima do jato com diluição (m/s):	1,63
Verificação da velocidade mínima do jato:	OK !!!
Verificação da velocidade máxima do jato:	OK !!!
Concentração mínima da mistura (H ₂ O + coagulante) (kg/m ³):	12,9
Concentração máxima da mistura (H ₂ O + coagulante) (kg/m ³):	180,0
Verificação para concentração mínima da mistura H ₂ O e coagulante:	OK !!!
Verificação para concentração máxima da mistura H ₂ O e coagulante:	OK !!!
Diâmetro calculado para tubulação de coagulante (mm):	7,52
Diâmetro adotado para tubulação de coagulante (mm): 22	
Velocidade mínima da solução de coagulante (m/s):	0,06
Velocidade máxima da solução de coagulante (m/s):	1,10
Diâmetro calculado para tubulação de água de diluição (mm):	53,19
Diâmetro adotado para tubulação de água de diluição (mm): 38	
Velocidade da água de diluição (m/s):	0,98

Planilha de Cálculos	
Diâmetro calculado para o difusor (mm):	53,72
Diâmetro adotado para o difusor (mm):	50
Velocidade mínima para o difusor (m/s):	0,58
Velocidade máxima para o difusor (m/s):	0,78
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,208
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,378

Considerando a necessidade de uma mistura adequada do coagulante na fase líquida, foram adotados um total de 30 orifícios com diâmetro igual a 6,3 mm distribuídos ao longo do comprimento do difusor e espaçados a cada 5 cm.

Tendo em vista a necessidade de manutenção de uma velocidade mínima nos orifícios igual ou superior a 1,0 m/s, definiu-se uma vazão de água de diluição igual a 4.000 L/h, devendo esta ser oriunda do reservatório elevado. Os diâmetros das linhas de condução de coagulante, água de diluição e do difusor deverão ser iguais a 22 mm, 38 mm e 50 mm, respectivamente.

As perdas de carga esperadas no difusor de coagulante deverão ser iguais a 0,208 m.c.a e 0,378 m.c.a para as vazões de água de diluição mais o coagulante iguais a 4.080 L/hora a 5.500 L/hora. Admitindo que a mistura do coagulante na fase líquida ocorra em um comprimento não superior a seis vezes o diâmetro da tubulação de recalque, pode-se estimar o gradiente de velocidade médio na mistura rápida por meio da seguinte expressão:

$$G = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{\mu \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{\mu \cdot \pi \cdot 6 \cdot D^3}}$$

$$G_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{\mu \cdot \pi \cdot 6 \cdot D^3}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 998,6 \cdot 9,81 \cdot 6 \cdot 4,0 \cdot 208}{1,053 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 6 \cdot 1,75^3}} \cong 700 \text{ s}^{-1}$$

$$G_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{\mu \cdot \pi \cdot 6 \cdot D^3}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 998,6 \cdot 9,81 \cdot 6 \cdot 4,0 \cdot 378}{1,053 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 6 \cdot 1,75^3}} \cong 944 \text{ s}^{-1}$$

Uma vez que os gradientes de velocidade resultaram superiores a 300 s⁻¹ e dado que o processo de coagulação é operado no mecanismo de varredura, tem-se que os mesmos são plenamente adequados à mistura rápida.

7.3 CÁLCULO DO CONSUMO DE POLÍMERO EM EMULSÃO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO

Tabela 7.6 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de polímero em emulsão como auxiliar de floculação

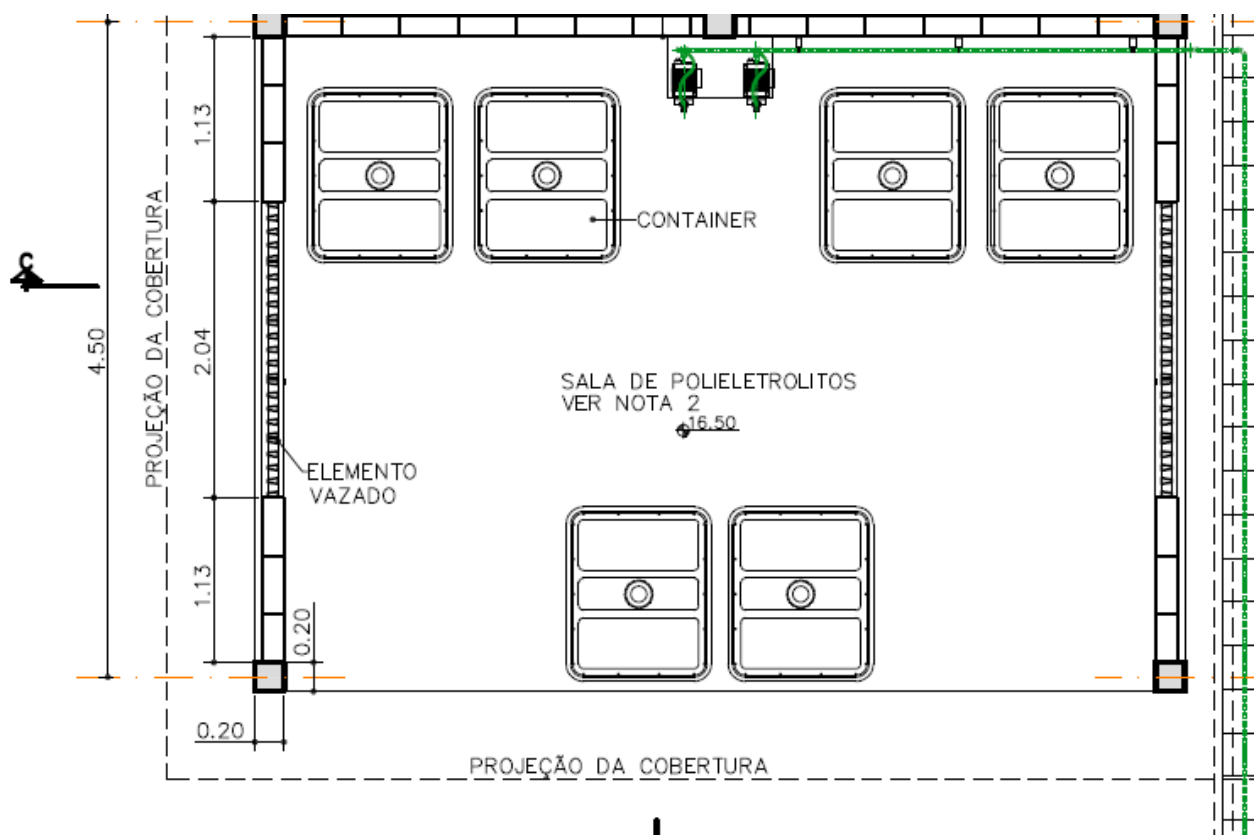
Polímero em emulsão – Auxiliar de Floculação		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como polímero (mg/L)		
Mínima	0,05	0,05
Média	0,15	0,15
Máxima	0,30	0,30
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	21,6	27,6
Média	64,8	82,9
Máxima	129,6	165,9
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	21,6	27,6
Média	64,8	82,9
Máxima	129,6	165,9
Massa específica do produto (Kg/m ³)	1100,0	1100,0
Vazões de Dosagem (L/h)		
Mínima	0,90	1,15
Média	2,70	3,46
Máxima	5,4	6,91
Autonomia (dias)	20,0	20,0
Estocagem (m ³)	1296,0	1658,88

Conforme solicitação da Cosanpa optou-se pela manutenção do polímero em emulsão como auxiliar de floculação. Desta forma, tem-se um consumo diário médio igual a 83 kg/dia para a condição de vazão média afluente igual a 6.400 L/s. Para uma autonomia de 20 dias, estima-se um consumo de polímero em torno de 1.659 kg para a condição de operação da ETA Bolonha com vazão média igual a 6.400 L/s.

Desta forma, foi previsto uma área de estocagem de polímero em emulsão com capacidade para seis tanques com capacidade individual igual a 1.000 Kg, devendo estar uma unidade em operação, o segundo tanque como unidade reserva e as demais unidades em stand-by.

A solução de polímero deverá bombeada a partir dos tanques de estocagem diretamente para o ponto de aplicação por meio de bombas dosadoras do tipo diafragma eletrônica com vazões de dosagem que poderão variar de 0,5 L/h a 10,0 L/h. Os tanques de polímero em emulsão e respectivas bombas dosadoras deverão estar localizados na área externa dedicada a estocagem de produtos químicos conforme apresentado na Figura 7.6.

Figura 7.6 – Planta de implantação do sistema de dosagem de polímero em emulsão a ser implantado na ETA Bolonha



Como as vazões da solução de polímero deverão ser bastante reduzidas, prevê-se a sua diluição a montante de seu ponto de aplicação de modo a garantir uma vazão mínima operacional que permita a sua distribuição de forma homogênea no canal de água coagulada.

A dispersão da solução de polímero na fase líquida deverá ser efetuada por meio de duas calhas difusoras instaladas em cada canal de água coagulada, isto é, uma calha difusora instalada no canal de condução de água coagulada para a ETA 1 (Antiga) e mais uma calha difusora instalada no canal de condução de água coagulada para a ETA 2 (Nova). Cada calha difusora deverá apresentar comprimento útil igual a 1,7 metros, portanto, seu comprimento característico para dimensionamento deverá ser igual a 3,4 metros.

De modo a garantir condições estruturais adequadas para a instalação da calha difusora em ambos os canais, decidiu-se pela sua fabricação em aço inox de secção retangular com dimensões iguais a 15 cm de largura por 20 de altura.

As vazões de solução de polímero deverão variar de 0,5 L/h a 10,0 L/h e, por serem reduzidas, não deverão oferecer condições de distribuição adequada na fase líquida. Desta forma, deverá ser necessário a diluição da solução de polímero de modo a ser possível estabelecer uma carga hidráulica mínima sobre os orifícios. Os parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento das calhas difusora de polímero estão apresentados na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Parâmetros adotados para o dimensionamento da calha difusora de polímero e necessidade de água de diluição

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão mínima de produto químico (L/h)	-	0,5
Vazão máxima de produto químico (L/hora)	-	10,0
Carga hidráulica mínima nos orifícios (cm)	5,0 a 10,0	5,0
Diâmetro dos orifícios (mm)	>3,0	9,6
Coefficiente de vazão dos orifícios	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m)	-	3,4 (1,7 metros por calha)
Espaçamento entre orifícios (cm)	10,0 a 15,0	10
Velocidade adotada para a solução de produto químico (m/s)	0,2 a 1,0	0,5
Velocidade adotada para a água de diluição (m/s):	1,0 a 2,0	1,5

As principais premissas adotadas para a calha difusora de polímero deverá ser o estabelecimento de uma carga hidráulica nos orifícios que permita a sua distribuição adequada na fase líquida. Os orifícios em cada calha deverão dispostos em duas linhas horizontais com 17 furos cada e apresentar espaçamento não superior a 10 cm e diâmetro deverá ser igual a 9,6 mm de forma a se evitar o seu entupimento com a solução do polímero. Os cálculos e verificações do dimensionamento da calha difusora de solução de polímero e cálculo das vazões mínimas de diluição estão apresentados na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 - Dimensionamento efetuado para a calha difusora de solução de polímero e cálculo das vazões de água de diluição

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	68
Número de orifícios adotado:	68
Espaçamento entre orifícios (cm):	10
Área total dos orifícios (m ²):	0,004921851
Velocidade mínima do jato sem diluição (m/s):	0,000
Velocidade máxima do jato sem diluição (m/s):	0,001
Carga hidráulica mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,000
Carga hidráulica máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,000
Verificação da carga hidráulica mínima nos orifícios	Rever !!!
Verificação da carga hidráulica máxima nos orifícios	Rever !!!
Vazão mínima requerida para água de diluição (L/h):	10519,72
Vazão máxima requerida para água de diluição (L/h):	10529,22
Vazão de água de diluição mínima adotado (L/h):	8000
Vazão de água de diluição máxima adotado (L/h):	10000
Vazão mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	8010
Vazão máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	10000,5
Velocidade mínima do jato com diluição (m/s):	0,45
Velocidade máxima do jato com diluição (m/s):	0,56
Carga hidráulica mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,029
Carga hidráulica máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,045
Concentração mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (kg/m ³):	0,0
Concentração máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (kg/m ³):	1,2
Diâmetro calculado para tubulação de produto químico (mm):	0,59
Diâmetro adotado para tubulação de produto químico (mm):	20
Velocidade mínima da solução de produto químico (m/s):	0,00
Velocidade máxima da solução de produto químico (m/s):	0,01
Diâmetro calculado para tubulação de água de diluição (mm):	43,43
Diâmetro adotado para tubulação de água de diluição (mm):	38

Planilha de Cálculos	
Velocidade mínima da água de diluição (m/s):	1,96
Velocidade máxima da água de diluição (m/s):	2,45
Verificação da velocidade mínima da água de diluição:	Ok!
Verificação da velocidade mínima da água de diluição:	Ok!
Altura adotada para a calha distribuidora (mm):	150
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,029
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,045
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (mm):	28,9
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (mm):	45,1
Verificação da calha distribuidora para vazão mínima da água de diluição:	Ok!
Verificação da calha distribuidora para vazão máxima da água de diluição:	Ok!

Portanto, cada canal de água coagulada deverá ser dotado de uma calha difusora de solução de polímero com dimensão útil igual a 1,7 metros e cada uma delas dotada de um total de 34 orifícios com 9,8 mm de diâmetro e espaçados a cada 10 cm.

A vazão de água de diluição deverá variar de 8.000 L/h a 10.000 L/h, devendo ser a mesma oriunda por gravidade a partir do reservatório elevado por meio de uma derivação na tubulação de saída de diâmetro igual a 700 mm. Os diâmetros das linhas de condução de solução de polímero e água de diluição deverão ser iguais a 22 mm e 38 mm respectivamente.

7.4 CÁLCULO DO CONSUMO DE ALCALINIZANTE – HIDRÓXIDO DE SÓDIO A 50%

Tabela 7.9 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de pré-alkalinizante (hidróxido de sódio recebido a 50%)

Soda Cáustica – Pré-Alcalinização		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como NaOH - (mg/L)		
Mínima	2,0	2,0
Média	5,0	5,0
Máxima	7,50	7,50
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	864,0	1105,09
Média	2160,0	2764,8

Máxima	3240,0	4147,2
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	1728,0	2211,8
Média	4320,0	5529,6
Máxima	6480,0	8294,4
Massa específica do produto (Kg/m ³)	1530,0	1530,0
Vazões de Dosagem (L/h)		
Mínima	47,1	60,2
Média	117,6	150,6
Máxima	176,5	225,9
Autonomia (dias)	20,	20,0
Estocagem (m ³)	56,47	72,28

Tabela 7.10 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de pós-alcalinizante (hidróxido de sódio recebido a 50%)

Soda Cáustica – Pós-Alcalinização		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como NaOH - (mg/L)		
Mínima	2,0	2,0
Média	5,0	5,0
Máxima	7,50	7,50
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	864,0	1105,09
Média	2160,0	2764,8
Máxima	3240,0	4147,2
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	1728,0	2211,8
Média	4320,0	5529,6
Máxima	6480,0	8294,4
Massa específica do produto (Kg/m ³)	1530,0	1530,0
Vazões de Dosagem (L/h)		
Mínima	47,1	60,2
Média	117,6	150,6
Máxima	176,5	225,9
Autonomia (dias)	20,0	20,0
Estocagem (m ³)	56,47	72,28

Para uma autonomia de 20 dias, o consumo de hidróxido de sódio a 50% a ser empregada na pré alcalinização para a condição de vazão igual a 6.400 L/s é da ordem de 73 m³. Por sua vez, para a pós-alcalinização estima-se também um consumo em torno de 73 m³. Deste modo, sugere-se uma capacidade mínima de estocagem igual a 146 m³, podendo-se adotar a

implantação de quatro tanques com capacidade mínima igual a 50 m³. Desta forma, teremos uma estocagem prevista igual a 200 m³ para atendimento da pré e pós-alkalinização.

As bombas dosadoras deverão ter a capacidade para atendimento das condições de vazões afluente a ETA Bolonha, podendo-se adotar a aquisição de duas bombas para a pré-alkalinização (1O+1R), com capacidade para dosar vazões entre 40 L/h a 250 L/h e mais duas bombas para a pós-alkalinização (1O+1R), com capacidade para dosar vazões entre 40 L/h a 250 L/h.

Em caso de aumento futuro nas vazões de hidróxido de sódio requeridas para a pré e pós alkalinização, pode-se admitir a possibilidade de funcionamento conjunto de ambas as bombas em operação mais a bomba reserva.

Os tanques de armazenamento de solução de hidróxido de sódio a 50% deverão ser localizados em área externa, devendo ser protegidos por baias de contenção, conforme apresentado nas Figuras 7.7 e 7.8.

Figura 7.7 - Planta de implantação dos tanques de armazenamento de solução de hidróxido de sódio a 50%

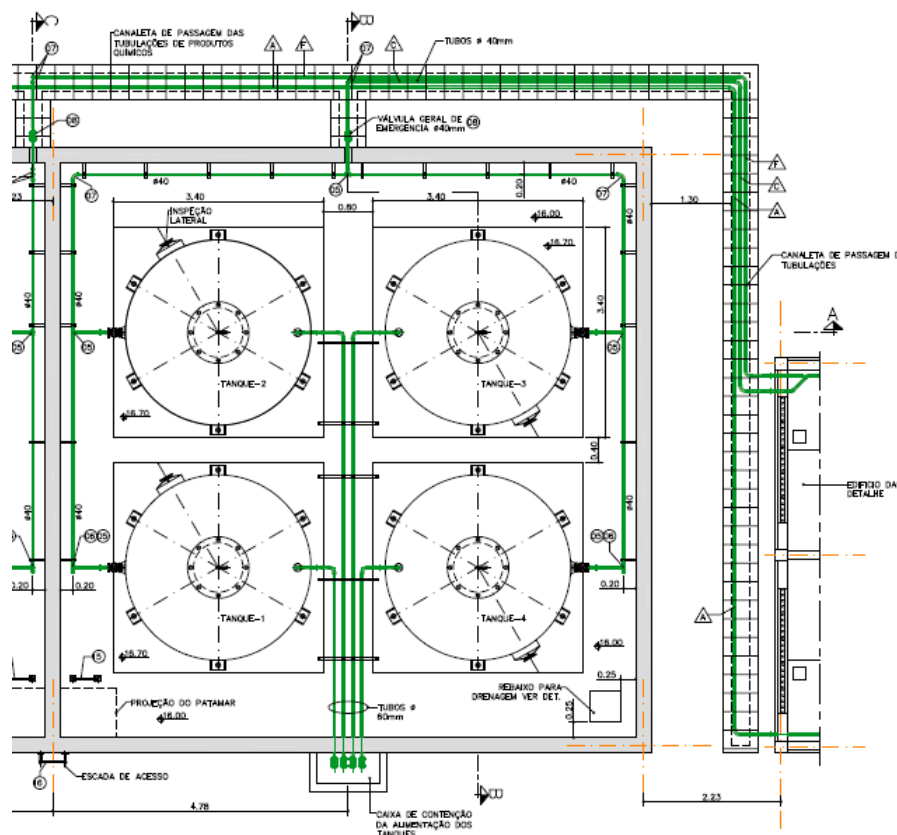
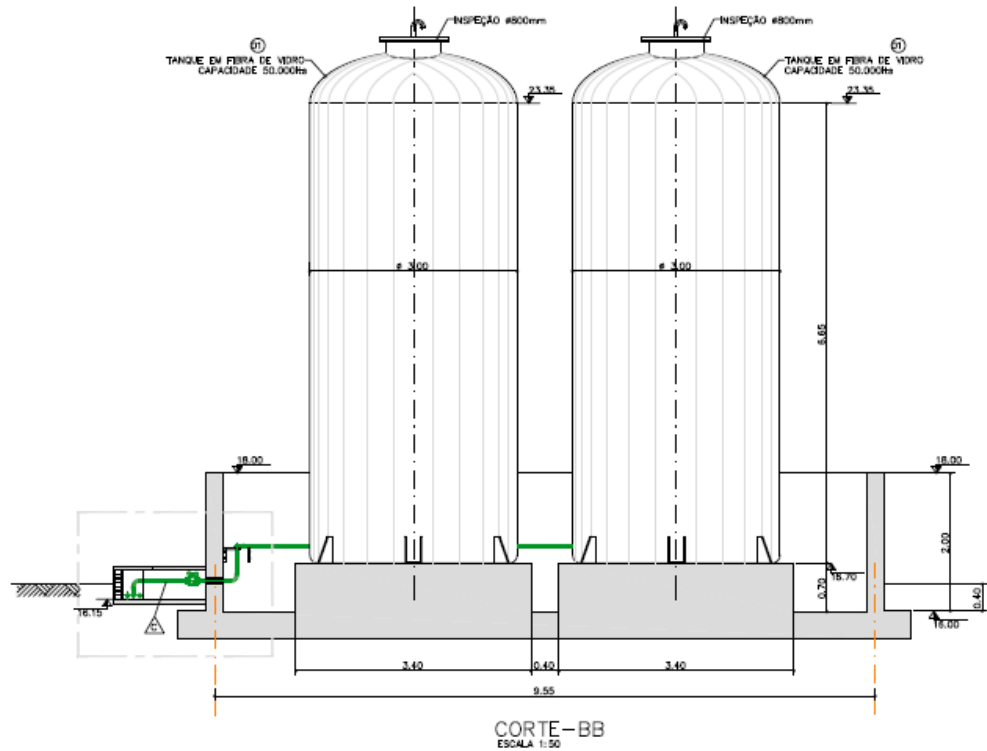


Figura 7.8 - Corte dos tanques de armazenamento de suspensão de hidróxido de sódio a 50%



Conforme comentado anteriormente, as linhas de condução de produtos químicos até o seu ponto de aplicação deverão apresentar um novo traçado, evitando-se a sua passagem dentro da área da ETA, conforme é efetuado atualmente. O novo traçado da linha de pré-alcalinizante deverá permitir o seu caminhamento em área externa à ETA e inserida em uma canaleta de transporte de produtos químicos e adentrando pela primeira galeria situada entre as unidades de floculação e sedimentação da ETA 1 (Primeira Etapa).

A partir daí a aplicação do agente pré-alcalinizante deverá ser efetuado mediante a inserção de um difusor horizontal diretamente na adutora de água bruta e imediatamente a jusante do ponto de aplicação do coagulante.

O difusor para a distribuição do agente pré-alcalinizante na água bruta deverá apresentar as mesmas características do difusor a ser empregado para a dispersão do coagulante. Como a adutora de água bruta apresenta um diâmetro igual a 1.750 mm, a implantação do difusor deverá ser também efetuada na horizontal, de modo que o mesmo possa ser ancorado de forma adequada na tubulação.

Com base nas vazões mínima e máxima estimada para a dosagem de hidróxido de sódio como agente pré-alcalinizante, tem-se que os seus valores deverão situar entre 40 L/h e 300 L/h.

Como estas vazões são reduzidas e, inclusive, inferiores às dosagens de coagulante, a dispersão do agente pré-alkalinizante na fase líquida também deverá necessitar de uma pré-diluição imediatamente a montante do seu ponto de aplicação. As premissas adotadas para o dimensionamento do difusor a ser utilizado para a dispersão do agente pré-alkalinizante estão apresentadas na Tabela 7.11.

Tabela 7.11 - Parâmetros adotados para o dimensionamento do difusor a ser empregado para a dispersão do agente pré-alkalinizante e necessidade de água de diluição

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão de água bruta (L/s):	-	6400
Vazão mínima de produto químico (L/hora):	-	40,0
Vazão máxima de produto químico (L/hora):	-	300,0
Velocidade do jato (m/s):	2,0 a 3,0	1,0
Diâmetro dos orifícios (mm):	>3,0	6,3
Coeficiente de vazão dos orifícios:	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m):	-	1,5
Espaçamento entre orifícios (cm):	10,0 a 15,0	5,0
Velocidade adotada para a solução de produto químico (m/s):	0,2 a 1,0	0,5
Velocidade adotada para a água de diluição (m/s):	1,0 a 2,0	1,0
Velocidade adotada para o difusor (m/s):	1,0 a 2,0	1,0

As principais premissas adotadas para o difusor deverá ser a disposição dos orifícios com espaçamento não superior a 5 cm e velocidade do jato da mistura coagulante e água de diluição não inferior a 1,0 m/s. O diâmetro dos orifícios adotado deverá ser igual a 6,3 mm. Os cálculos e verificações do dimensionamento do difusor para o agente pré-alkalinizante e cálculo das vazões mínimas de água de diluição estão apresentados na Tabela 7.12.

Tabela 7.12 - Dimensionamento efetuado para o difusor de coagulante e cálculo das vazões de água de diluição

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	30
Número de orifícios adotado:	30
Espaçamento entre orifícios (cm):	5,0

Planilha de Cálculos	
Área total dos orifícios (m ²):	0,000935146
Velocidade mínima do jato sem diluição (m/s):	0,012
Velocidade máxima do jato sem diluição (m/s):	0,089
Verificação da velocidade mínima do jato:	Rever!
Verificação da velocidade máxima do jato:	Rever!
Vazão mínima requerida para água de diluição (L/h):	3066,53
Vazão máxima requerida para água de diluição (L/h):	3326,53
Vazão de água de diluição adotado (L/h):	4000
Vazão mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	4040
Vazão máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	4300
Velocidade mínima do jato com diluição (m/s):	1,20
Velocidade máxima do jato com diluição (m/s):	1,28
Diâmetro calculado para tubulação de produto químico (mm):	5,32
Diâmetro adotado para tubulação de produto químico (mm):	22
Velocidade mínima da solução de produto químico (m/s):	0,03
Velocidade máxima da solução de produto químico (m/s):	0,22
Diâmetro calculado para tubulação de água de diluição (mm):	53,19
Diâmetro adotado para tubulação de água de diluição (mm):	38
Velocidade da água de diluição (m/s):	0,98
Diâmetro calculado para o difusor (mm):	53,46
Diâmetro adotado para o difusor (mm):	50
Velocidade mínima para o difusor (m/s):	0,57
Velocidade máxima para o difusor (m/s):	0,61
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,204
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,231

Portanto, considerando a necessidade de uma mistura adequada do agente pré-alcalinizante na fase líquida, foram adotados um total de 30 orifícios com diâmetro igual a 6,3 mm distribuídos ao longo do comprimento do difusor e espaçados a cada 5 cm.

Tendo em vista a necessidade de manutenção de uma velocidade mínima nos orifícios igual ou superior a 1,0 m/s, definiu-se uma vazão de água de diluição igual a 4.000 L/h, devendo

esta ser também oriunda do reservatório elevado. Os diâmetros das linhas de condução de agente pré-alcalinizante, água de diluição e do difusor deverão ser iguais a 22 mm, 38 mm e 50 mm, respectivamente.

Por sua vez, a aplicação do agente pós-alcalinizante na fase líquida será efetuada diretamente no canal geral de água filtrada e nas proximidades do vertedor Creager. A sua disposição na fase líquida deverá ocorrer por meio de uma calha difusora e que deverá ser instalada no lugar das antigas calhas de distribuição de suspensão de cal hidratada e que se encontra desativadas.

A calha de distribuição de solução de hidróxido de sódio como agente pós-alcalinizante deverá ser confeccionada em aço inoxidável, de secção retangular com dimensões iguais a 10 cm de largura por 15 cm de altura. Em razão das baixas vazões de solução de hidróxido de sódio previsto para a pós-alcalinização (40 L/h a 300 L/h), deverá ser prevista a sua diluição imediatamente a montante da calha difusora com o objetivo de aumentar a vazão na calha e permitir uma carga hidráulica mínima em torno de 5 cm sobre os orifícios.

Os parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento da calha difusora de hidróxido de sódio para a pós-alcalinização estão apresentados na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 - Parâmetros adotados para o dimensionamento da calha difusora de solução de hidróxido de sódio (pós-alcalinização) e necessidade de água de diluição

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão mínima de produto químico (L/hora):	-	400,0
Vazão máxima de produto químico (L/hora):	-	300,0
Carga hidráulica mínima nos orifícios (cm):	5,0 a 10,0	5,0
Diâmetro dos orifícios (mm):	>3,0	6,3
Coefficiente de vazão dos orifícios:	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m):	-	4,6
Espaçamento entre orifícios (cm):	10,0 a 15,0	10,0
Velocidade adotada para a solução de produto químico (m/s):	0,2 a 1,0	0,5
Velocidade adotada para a água de diluição (m/s):	1,0 a 2,0	0,5

As principais premissas adotadas para a calha difusora de solução de hidróxido de sódio para a pós-alcalinização deverá ser o estabelecimento de uma carga hidráulica nos orifícios que permita a sua distribuição adequada na fase líquida. Os orifícios deverão apresentar espaçamento

não superior a 10 cm e seu diâmetro deverá ser igual a 6,3 mm. Os cálculos e verificações do dimensionamento da calha difusora de solução de hidróxido de sódio para a pós-alcalinização e cálculo das vazões mínimas de diluição estão apresentados na Tabela 7.14.

Portanto, o canal geral de água filtrada deverá ser dotado de uma calha difusora de solução de hidróxido de sódio com dimensão igual a 4,6 metros. e dotada de um total de 46 orifícios com 6,3 mm de diâmetro e espaçados a cada 10 cm.

A vazão de água de diluição deverá ser em torno de 3.200 L/h, devendo ser a mesma oriunda por gravidade a partir do reservatório elevado por meio de uma derivação específica na tubulação de saída de diâmetro igual a 700 mm. Os diâmetros das linhas de condução de solução de hidróxido de sódio para a pós-cloração e água de diluição deverão ser iguais a 20 mm e 32 mm respectivamente.

Tabela 7.14 - Dimensionamento efetuado para a calha difusora de solução de hidróxido de sódio para a pós-alcalinização e cálculo das vazões de água de diluição

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	46
Número de orifícios adotado:	46
Espaçamento entre orifícios (cm):	10
Área total dos orifícios (m ²):	0,001433891
Velocidade mínima do jato sem diluição (m/s):	0,008
Velocidade máxima do jato sem diluição (m/s):	0,058
Carga hidráulica mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,000
Carga hidráulica máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,000
Verificação da carga hidráulica mínima nos orifícios	Rever !!!
Verificação da carga hidráulica máxima nos orifícios	Rever !!!
Vazão mínima requerida para água de diluição (L/h):	2767,64
Vazão máxima requerida para água de diluição (L/h):	3027,64
Vazão de água de diluição mínima adotado (L/h):	2700
Vazão de água de diluição máxima adotado (L/h):	3200
Vazão mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	3000
Vazão máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	3240
Velocidade mínima do jato com diluição (m/s):	0,58
Velocidade máxima do jato com diluição (m/s):	0,63

Planilha de Cálculos	
Carga hidráulica mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,048
Carga hidráulica máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,056
Concentração mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (kg/m ³):	8,1
Concentração máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (kg/m ³):	66,0
Diâmetro calculado para tubulação de produto químico (mm):	5,32
Diâmetro adotado para tubulação de produto químico (mm):	20
Velocidade mínima da água de diluição (m/s):	0,04
Velocidade máxima da água de diluição (m/s):	0,27
Diâmetro calculado para tubulação de água de diluição (mm):	43,70
Diâmetro adotado para tubulação de água de diluição (mm):	32
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,93
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	1,11
Altura adotada para a calha distribuidora (mm):	150
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,048
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,056
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (mm):	47,8
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (mm):	55,8
Verificação da calha distribuidora para vazão mínima da água de diluição:	Ok!
Verificação da calha distribuidora para vazão máxima da água de diluição:	Ok!

7.5 PERDA DE CARGA MÁXIMA NOS ORIFÍCIOS DO DIFUSOR (M.C.A):

Tabela 7.15 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de cloro para a pré-cloração

Cloro Gasoso – Pré-Cloração		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como Cl₂ - (mg/L)		
Mínima	1,0	1,0
Média	2,0	2,0
Máxima	4,0	4,0
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	432,0	552,96

Média	864,0	1105,92
Máxima	1728	2211,84
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	432,0	552,96
Média	864,0	1105,92
Máxima	1728	2211,84
Vazões de arraste do injetor de cloro (L/h)		
Mínima	7202,9	9219,7
Média	14411,5	18446,8
Máxima	28846,2	36923,1
Estocagem (Kg)	17280,0	22118,4

Tabela 7.16 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de cloro para a pós-cloração

Cloro Gasoso – Pós-Cloração		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como Cl₂ - (mg/L)		
Mínima	1,0	1,0
Média	2,0	2,0
Máxima	4,0	4,0
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	432,0	552,96
Média	864,0	1105,92
Máxima	1728	2211,84
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	432,0	552,96
Média	864,0	1105,92
Máxima	1728	2211,84
Vazões de arraste do injetor de cloro (L/h)		
Mínima	7202,9	9219,7
Média	14411,5	18446,8
Máxima	28846,2	36923,1
Estocagem (Kg)	17280,0	22118,4

O cloro continuará a ser recebido em cilindros metálicos de 1650 kg (900 kg de cloro + tara), que serão descarregados por meio de talha elétrica para a sala de estocagem.

O consumo médio de cloro previsto para atendimento de ambas as condições de pré e pós-cloração deverão ser iguais a 2.212 kg/dia (1.106 kg/dia para a pré-cloração e mais 1.106 kg/dia para a pós-cloração). Atualmente, o sistema de cloro é operado com quatro cilindros em operação e mais unidades em “stand-by”. Portanto, para quatro cilindros de cloro em operação, tem-se uma capacidade de estocagem igual a 3.600 kg e uma autonomia 1,63 dias.

Assim sendo, a cada 1,63 dias deverá ser efetuada a troca da bateria de quatro cilindros em condição de “stand-by” para a condição de operação. Uma das maiores limitações do atual sistema de estocagem de cilindros de cloro é que o mesmo não é isolado de forma adequada, não contendo os equipamentos e condições de segurança exigidos para sistemas de cloração. Portanto, futuramente, a sala de cilindros de cloro e respectiva sala de cloradores e evaporadores deverá ser isolada e dotada de sistema de exaustão de gases e respectivo lavador. .

Em função do porte da ETA Bolonha, o sistema de cloração continuará prevendo-se a tomada de cloro líquido diretamente dos cilindros. Atualmente, encontram-se em operação um total de dois evaporadores de cloro (1O+1R) cuja capacidade individual estima-se ser igual a 200 kg/h e compatível com os atuais cloradores em operação.

Os consumos de cloro máximo esperados para a ETA Bolonha deverão ser iguais a 2.212 kg/dia (pré-cloração) e 2.212 kg/dia (pós-cloração), totalizando um consumo máximo igual a 4.424 kg/dia (184,3 kg/hora). Os consumos máximos foram calculados admitindo uma vazão máxima afluyente a ETA Bolonha igual a 6.400 L/s e dosagens de cloro máximos na pré e pós-cloração iguais a 4,0 mg Cl₂/L cada.

Uma vez que a necessidade de cloro máxima prevista para a pré-cloração e pós-cloração deverão ser iguais 184,3 kg/hora e sua demanda é inferior a capacidade dos atuais evaporadores instalados (200 kg/hora cada), deverão ser mantidos os atuais equipamentos instalados, sem necessidade de instalação de novas unidades.

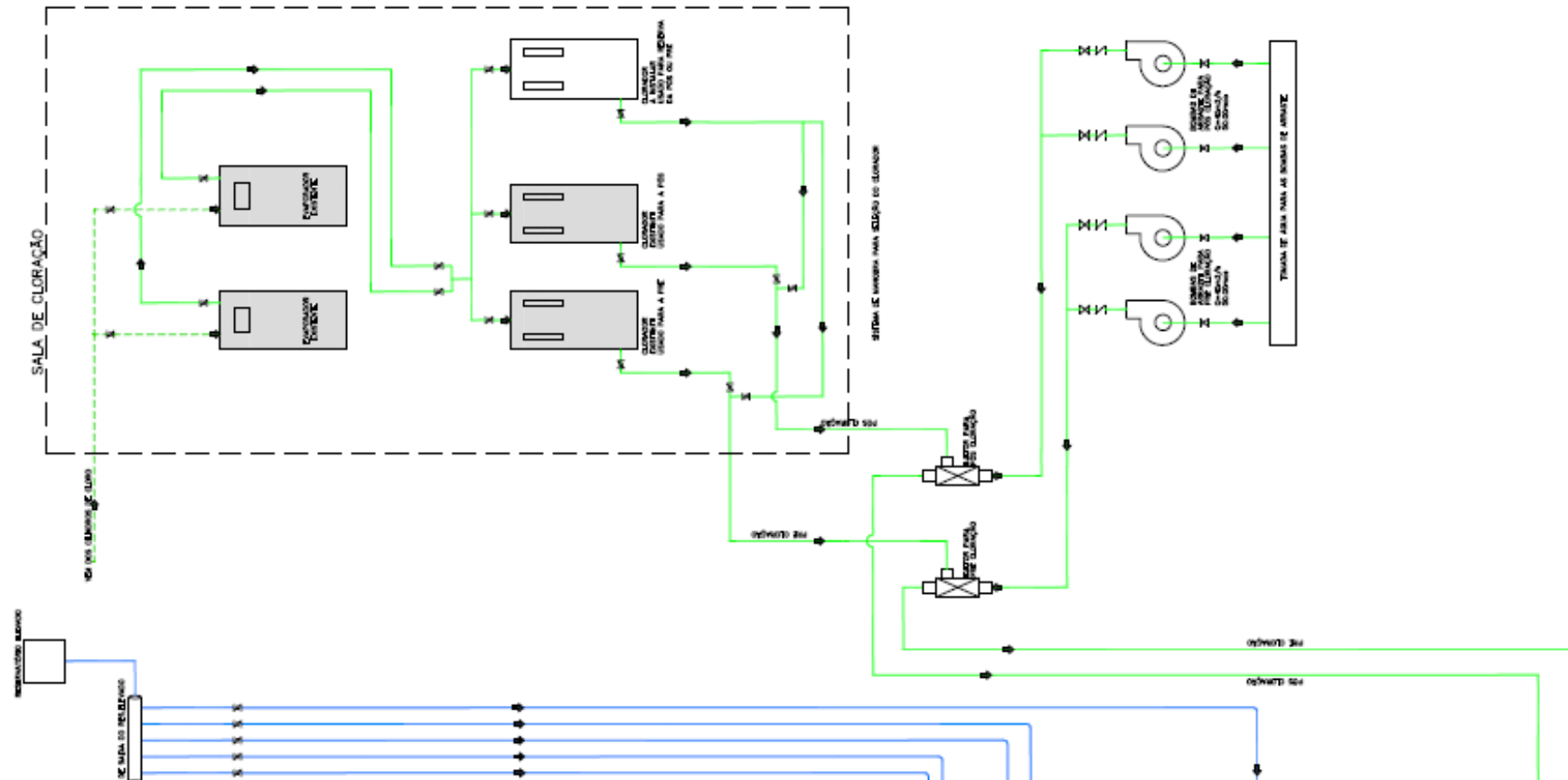
Com relação aos cloradores existentes, existe uma severa limitação de equipamentos, uma vez que ambas as unidades em operação apenas apresentam condições de atendimento para a pós-cloração. Desta forma, de modo a ser possível a reabilitação das condições operacionais da pré-cloração, prevê-se a instalação de mais um clorador com vistas a garantir que uma unidade atenda a pré-cloração, a segunda unidade atenda a pós-cloração e haja sempre uma unidade reserva que possa atender tanto a pré-cloração como a pós-cloração.

Conforme já explicitado, o consumo de cloro máximo estimado deverá ser igual a 2.212 kg/dia (pré-cloração) e 2.212 kg/dia (pós-cloração), o que corresponde a um consumo máximo horário igual a 92,2 kg/hora. Os cloradores atualmente em operação na ETA Bolonha apresentam capacidade máxima igual a 200 kg/hora e, portanto, ambos apresentam plenas condições para atendimento para a pré e pós-cloração. Portanto, a revisão do sistema de cloração deverá contemplar a implantação de mais um clorador de igual capacidade que poderá atender tanto a pré como a pós-cloração.

Tendo em vista oferecer maior flexibilidade a operação do sistema de cloração, todas as linhas de cloro gasoso a jusante dos evaporadores deverão ser remanejadas de forma que qualquer um dos cloradores instalados possa alimentar de forma independente os injetores

dedicados a pré e pós-cloração. A Figura 7.9 apresenta um fluxograma do sistema de cloração proposto para a ETA Bolonha, indicando as interligações e arranjo proposto para os evaporadores, cloradores, injetores, bombas de arraste de cloro em função dos diferentes pontos de dosagem.

Figura 7.9 - Fluxograma do sistema de cloração proposto para a ETA Bolonha



A partir de cada evaporador deverá ser prevista uma linha de cloro gasoso e estas deverão se interligar em um barrilete, podendo alimentar a todos os cloradores. Assim sendo, o evaporador 1 (EV 1) poderá suprir cloro gasoso para os cloradores 1, 2, e 3 (CL 1, CL2 e CL3) e, do mesmo modo, também o evaporador 2 (EV 2) poderá suprir cloro gasoso para os cloradores 1, 2 e 3 (CL 1, CL2 e CL3).

Tendo em vista garantir total flexibilidade ao sistema de cloração, vamos adotar a instalação de mais um clorador com capacidade individual mínima de 200 kg/hora, o que totalizará um conjunto de três cloradores instalados (2O+1R) e que deverão trabalhar individualmente na pré-cloração, pós-cloração e mais uma unidade reserva.

Desta forma, mediante arranjo de válvulas, qualquer clorador poderá atender a um respectivo ponto de consumo de cloro, isto é, o clorador CL1 poderá atender a pré ou a pós-cloração. O mesmo conceito vale para os demais cloradores CL2 e CL3. Como qualquer clorador deverá apresentar condições de atendimento a pré e pós-cloração, todos os cloradores instalados deverão apresentar capacidade individual igual a 200 kg/hora.

Os evaporadores, cloradores e injetores deverão estar localizados em uma sala contígua à sala de estocagem de cilindros de cloro (Figura 7.10), sendo que ambas deverão ser dotadas de equipamentos de segurança pertinentes (sistemas de exaustão, lavador de gases, alarmes, etc...). A Figura 7.11 apresenta um desenho isométrico do sistema de alimentação e saída dos cloradores.

Figura 7.10 Vista geral da sala de evaporadores e cloradores e seu posicionamento em relação a sala de estocagem de cilindros de cloro

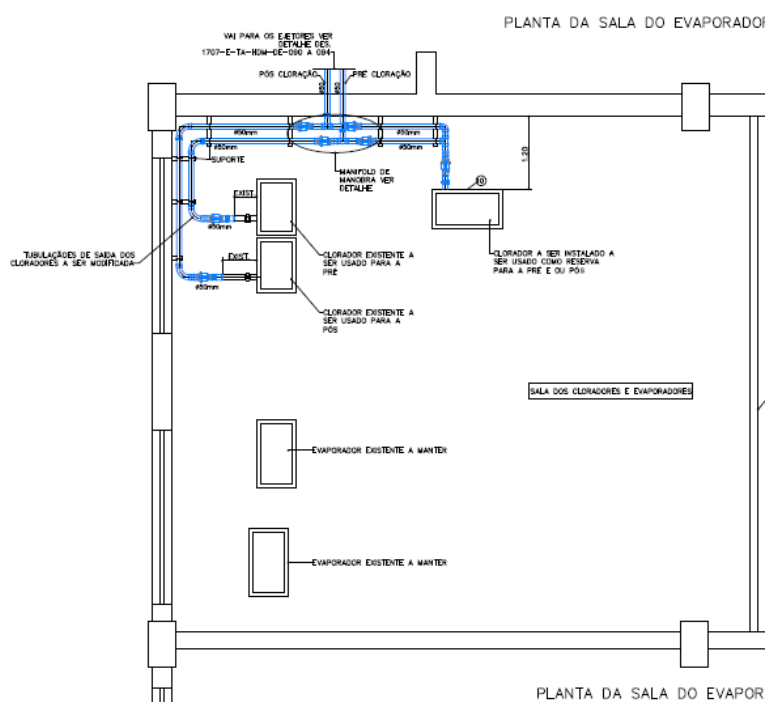
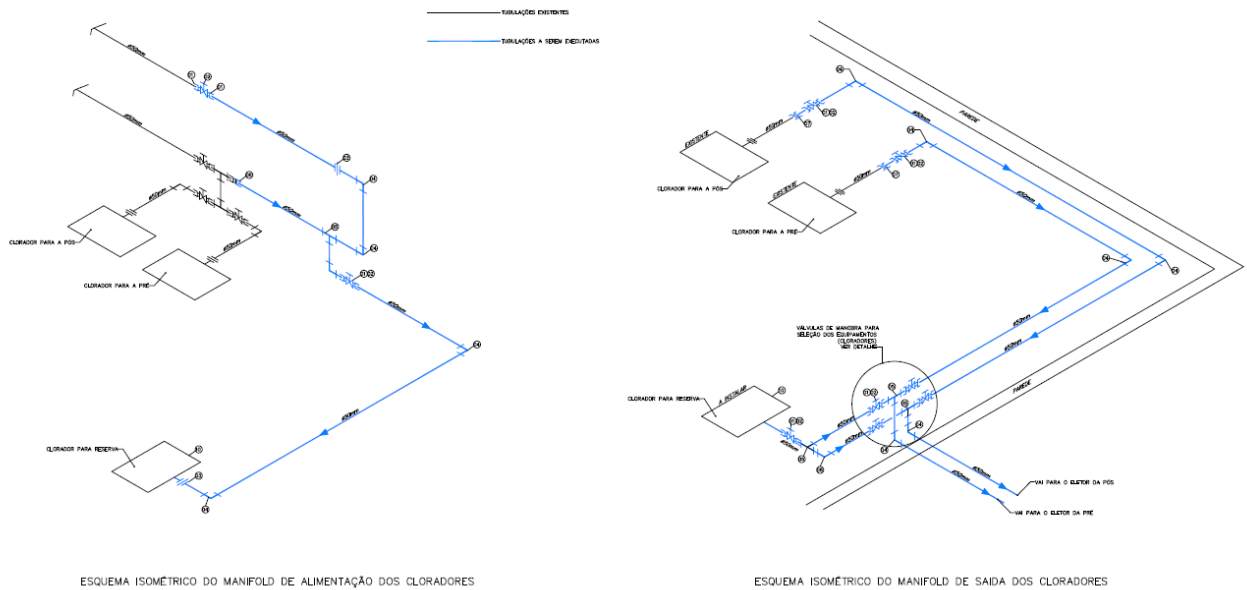


Figura 7.11 Desenho isométrico do sistema de alimentação e saída dos cloradores a ser reformulado na ETA Bolonha



Deverão ser previstos dois injetores de cloro, sendo um dedicado a pré-cloração e outro dedicado a pós-cloração. Assim sendo, todos os cloradores deverão ser montados de modo que cada injetor possa ser alimentado individualmente por qualquer clorador, conferindo deste modo flexibilidade na operação do sistema de cloração. A capacidade dos injetores deverá ser compatível com a capacidade dos cloradores, assim sendo, deverão ser instalados injetores de cloro com capacidade mínima de 200 kg/hora.

A alimentação dos injetores de cloro deverá ocorrer por meio de bombas centrífugas que deverão estar localizadas junto ao canal geral de água filtrada. Como estão previstas um total de dois injetores de cloro, deverão ser previstas duas bombas para a alimentação de água para os injetores da pré-cloração (1O+1R) e mais duas bombas de água para a alimentação dos injetores da pós-cloração (1O+1R).

Para as vazões da ETA Bolonha, tem-se que as suas dosagens mássicas mínimas e máximas de cloro e vazões de água para alimentação dos injetores (admitido que a concentração máxima de cloro na solução de dosagem será de 2,5 g/l) de pré e pós cloração deverão ser iguais a:

Tabela 7.17 Vazão mínima de alimentação dos injetores de cloro previstos para atendimento da pré-cloração

Pré-Cloração	5,0 m ³ /s		6,4 m ³ /s	
	Q min (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q min (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)
Vazão do injetor	7,2	28,8	9,2	36,9
Dosagem de cloro	Q min (kg/dia)	Q máx (kg/dia)	Q min (kg/dia)	Q máx (kg/dia)
	432	1.728	553	2.212

Tabela 7.18 - Vazão mínima de alimentação dos injetores de cloro previstos para atendimento da pós-cloração

Pós-Cloração	5,0 m ³ /s		6,4 m ³ /s	
	Q min (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)	Q min (m ³ /h)	Q máx (m ³ /h)
Vazão do injetor	7,2	28,8	9,2	36,9
Dosagem de cloro	Q min (kg/dia)	Q máx (kg/dia)	Q min (kg/dia)	Q máx (kg/dia)
	432	1.728	553	2.212

Com base nas vazões mínimas de alimentação dos injetores apresentadas e em função das características mínimas operacionais dos injetores de cloro, deverão ser empregadas 04 bombas centrífugas com vazão nominal mínima de 40 m³/hora (11,1 L/s) e altura manométrica mínima de 50 m.c.a, devendo esta ser posteriormente checada conforme características hidráulicas mínimas requeridas pelos injetores de cloro.

A aplicação de cloro na forma de pré e pós cloração deverão ser efetuadas por meio de difusores convenientemente instalados diretamente na caixa de chegada de água bruta (pré-cloração) e no canal geral de água filtrada. As vazões da água de arraste para a pré e pós-cloração deverão ser iguais a 40 m³/hora, de forma que as concentrações de cloro não sejam superiores a 2,5 g/L. Os parâmetros adotados para o dimensionamento do difusor de cloro na pré-cloração encontra-se apresentado na Tabela 7.19.

Tabela 7.19 - Parâmetros adotados para o dimensionamento do difusor de cloro para a pré-cloração

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão mínima da água de arraste (L/hora):	-	36000
Vazão máxima da água de arraste (L/hora):	-	40000
Velocidade mínima do jato no orifício (m/s):	1,0 a 3,0	1,0

Diâmetro dos orifícios (mm):	>3,0	9,8
Coeficiente de vazão dos orifícios:	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m):	-	10,4
Espaçamento entre orifícios (cm):	10,0 a 15,0	10,0
Velocidade máxima adotada para a água de arraste (m/s):	0,2 a 1,0	1,5
Velocidade máxima adotada para o difusor (m/s):	1,0 a 2,0	1,5

O difusor para a distribuição de cloro na forma de pré-cloração deverá ser instalado na caixa de chegada de água bruta ao longo de uma largura útil igual a 10,4 metros. Os orifícios deverão apresentar diâmetro igual a 9,8 mm e apresentar espaçamento igual a 10 cm. Desta forma, o difusor deverá apresentar um total de 104 orifícios e cujos principais parâmetros hidráulicos operacionais encontram-se apresentados na Tabela 7.20.

Tabela 7.20 - Dimensionamento efetuado para o difusor de cloro operando na pré-cloração e suas principais grandezas hidráulicas pertinentes

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	104
Número de orifícios adotado:	104
Espaçamento entre orifícios (cm):	10
Área total dos orifícios (m ²):	0,007844451
Velocidade mínima do jato no orifício (m/s):	1,275
Velocidade mínima do jato no orifício (m/s):	1,416
Verificação da velocidade mínima do jato no orifício:	Ok!
Verificação da velocidade máxima do jato no orifício:	Ok!
Vazão de água de diluição adotado (L/h):	1,416
Velocidade do jato no orifício (m/s):	1,42
Verificação da velocidade do jato no orifício:	Ok!
Diâmetro calculado para tubulação de água de arraste (mm):	97,12
Diâmetro adotado para tubulação de água de arraste (mm):	100
Velocidade mínima da solução de água de arraste (m/s):	1,27
Velocidade máxima da solução de água de arraste (m/s):	1,41
Verificação da velocidade mínima da água de arraste:	Ok!

Planilha de Cálculos	
Verificação da velocidade máxima da água de arraste:	Ok!
Diâmetro calculado para o difusor (mm):	97,12
Diâmetro adotado para o difusor (mm):	100
Velocidade da água de arraste no difusor (m/s):	1,41
Verificação da velocidade máxima da água de arraste no difusor:	Ok!
Perda de carga nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,284

Uma vez que a vazão de água de arraste deverá ser igual a 40 m³/hora, adotou-se um diâmetro para a linha de água de arraste e difusor igual a 100 mm. A distribuição dos orifícios a cada 10 cm e tendo cada um deles diâmetro igual a 9,8 mm permitirá que a velocidade do jato seja igual a 1,42 m/s. Uma vez que este valor é superior a 1,0 m/s, pode-se concluir que o dimensionamento do difusor de cloro para a pré-cloração está adequado.

Com relação a pós-cloração, o difusor de cloro deverá ser instalado diretamente no canal geral de água filtrada e o mesmo deverá apresentar um comprimento útil igual a 4,6 metros. Como a sua vazão de água de arraste também deverá ser igual a 40 m³/hora, o diâmetro da linha da água de arraste e respectivo difusor também deverão ser iguais a 100 mm. Os parâmetros adotados para o dimensionamento do difusor de cloro na pós-cloração encontra-se apresentado na Tabela 7.21.

Tabela 7.21 - Parâmetros adotados para o dimensionamento do difusor de cloro para a pós-cloração

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão mínima da água de arraste (L/hora):	-	36000
Vazão máxima da água de arraste (L/hora):	-	40000
Velocidade mínima do jato no orifício (m/s):	1,0 a 3,0	1,0
Diâmetro dos orifícios (mm):	>3,0	9,8
Coeficiente de vazão dos orifícios:	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m):	-	4,6
Espaçamento entre orifícios (cm):	10,0 a 15,0	15,0
Velocidade máxima adotada para a água de arraste (m/s):	0,2 a 1,0	1,5
Velocidade máxima adotada para o difusor (m/s):	1,0 a 2,0	1,5

Os orifícios do difusor de cloro para a pós-cloração deverão apresentar diâmetro igual a 9,8 mm e apresentar espaçamento igual a 5 cm. Desta forma, o difusor deverá apresentar um total de 92 orifícios e cujos principais parâmetros hidráulicos operacionais encontram-se apresentados na Tabela 7.22.

Tabela 7.22 - Dimensionamento efetuado para o difusor de cloro operando na pré-cloração e suas principais grandezas hidráulicas pertinentes

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	92
Número de orifícios adotado:	92
Espaçamento entre orifícios (cm):	5,0
Área total dos orifícios (m ²):	0,006939322
Velocidade mínima do jato no orifício (m/s):	1,441
Velocidade mínima do jato no orifício (m/s):	1,601
Verificação da velocidade mínima do jato no orifício:	Ok!
Verificação da velocidade máxima do jato no orifício:	Ok!
Vazão de água de diluição adotado (L/h):	40000
Velocidade do jato no orifício (m/s):	1,60
Verificação da velocidade do jato no orifício:	Ok!
Diâmetro calculado para tubulação de água de arraste (mm):	97,12
Diâmetro adotado para tubulação de água de arraste (mm):	100
Velocidade mínima da solução de água de arraste (m/s):	1,27
Velocidade máxima da solução de água de arraste (m/s):	1,41
Verificação da velocidade mínima da água de arraste:	Ok!
Verificação da velocidade máxima da água de arraste:	Ok!
Diâmetro calculado para o difusor (mm):	97,12
Diâmetro adotado para o difusor (mm):	100
Velocidade da água de arraste no difusor (m/s):	1,41
Verificação da velocidade máxima da água de arraste no difusor:	Ok!
Perda de carga nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,363

Para a vazão de água de arraste igual a 40 m³/hora, a velocidade do jato nos orifícios deverá ser igual a 1,60 m/s e, uma vez que este valor é superior a 1,0 m/s, pode-se concluir que o dimensionamento do difusor de cloro para a pós-cloração está adequado.

7.6 CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁCIDO FLUOSSILÍCICO

Tabela 7.23 - Consumos, vazões de dosagens e estocagem de ácido fluossilícico

Ácido Fluossilícico - Fluoretação		
Parâmetro	Vazão mínima (L/s)	Vazão máxima (L/s)
		5000
Dosagens – expressa como Cl₂ - (mg/L)		
Mínima	0,60	0,60
Média	0,80	0,80
Máxima	1,0	1,0
Consumo diário de produto puro (kg/dia)		
Mínima	259,2	331,8
Média	345,6	442,4
Máxima	432,0	553,0
Consumo diário de produto comercial (kg/dia)		
Mínima	1489,3	1906,3
Média	1985,7	2541,7
Máxima	2482,1	3177,1
Massa específica do produto (Kg/m ³)	1200	1200
Vazões de dosagem (L/h)		
Mínima	51,7	66,2
Média	68,9	88,3
Máxima	86,2	110,3
Autonomia (dias)	20,0	20,0
Estocagem (Kg)	33,09	42,36

Para uma autonomia de 20 dias, o volume de estocagem de solução de ácido fluossilícico a ser aplicado na vazão de água tratada deverá ser igual a 42,4 m³ para a condição de vazão máxima da ETA Bolonha. Recomenda-se a implantação de dois tanques com volume individual igual a 25 m³, totalizando um volume de estocagem igual a 50 m³.

As bombas dosadoras deverão ter a capacidade para atendimento da vazão mínima (5.000 L/s) e máxima (6.400 L/s), podendo-se adotar para a aquisição de duas bombas (10+1R) com capacidade para dosar vazões entre 50 L/h a 120 L/h.

Os tanques de ácido fluossilícico deverão serem implantados em área externa a ETA e próximo dos demais tanques de armazenamento de produtos químicos. A sua dosagem deverá efetuada diretamente no canal geral de água filtrada por meio de uma calha difusora que deverá

ser disposta ao longo de sua largura. Como as vazões de produto comercial são relativamente reduzidas, prevê-se a sua diluição com água filtrada imediatamente antes de sua disposição na calha difusora.

A aplicação de ácido fluossilícico deverá ser efetuada diretamente no canal geral de água filtrada por meio de uma calha difusora cujo comprimento útil deverá ser igual a 4,6 metros, devendo estar localizada próxima da calha difusora de solução de hidróxido de sódio aplicado na forma de pós-alcalinização e a montante do vertedor Creager.

Uma vez que a vazão de ácido fluossilícico deverá situar entre 50 L/hora a 120 L/hora, deverá haver a necessidade de sua diluição com o objetivo de permitir uma carga hidráulica mínima nos orifícios da calha difusora, o que permitirá a sua distribuição de forma homogênea sobre a fase líquida. Os parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento das calha difusora de ácido fluossilícico estão apresentados na Tabela 7.24.

Tabela 7.24 - Parâmetros adotados para o dimensionamento da calha difusora de solução de ácido fluossilícico e necessidade de água de diluição

Dados de entrada	Valores recomendados	Valores Adotados
Vazão mínima de produto químico (L/hora):	-	50,0
Vazão máxima de produto químico (L/hora):	-	120,0
Carga hidráulica mínima nos orifícios (cm):	1,0 a 3,0	5,0
Diâmetro dos orifícios (mm):	>3,0	6,3
Coefficiente de vazão dos orifícios:	0,4 a 0,6	0,6
Dimensão característica (m):	-	4,6
Espaçamento entre orifícios (cm):	10,0 a 15,0	10,0
Velocidade adotada para a solução de produto químico (m/s):	0,2 a 1,0	0,5
Velocidade adotada para a água de diluição (m/s):	1,0 a 2,0	1,5

Os orifícios da calha difusora deverão apresentar espaçamento não superior a 10 cm e seu diâmetro deverá ser igual a 6,3 mm. Os cálculos e verificações do dimensionamento da calha difusora de solução de ácido fluossilícico e cálculo das vazões mínimas de diluição estão apresentados na Tabela 7.25.

Desta forma, o canal geral de água filtrada deverá ser dotado de uma calha difusora para a dispersão da solução de ácido fluossilícico com dimensão igual a 4,6 metros, apresentando um total de 46 orifícios com 6,3 mm de diâmetro e espaçados a cada 10 cm.

A vazão de água de diluição deverá ser em torno de 3.200 L/h, devendo ser a mesma oriunda por gravidade a partir do reservatório elevado por meio de uma derivação específica na tubulação de saída de diâmetro igual a 700 mm. Os diâmetros das linhas de condução de solução de ácido fluossilícico e água de diluição deverão ser iguais a 20 mm e 32 mm respectivamente.

Tabela 7.25 - Dimensionamento efetuado para a calha difusora de solução de hidróxido de sódio para a pós-alcalinização e cálculo das vazões de água de diluição

Planilha de Cálculos	
Número de orifícios calculado:	46
Número de orifícios adotado:	46
Espaçamento entre orifícios (cm):	10
Área total dos orifícios (m ²):	0,001433891
Velocidade mínima do jato sem diluição (m/s):	0,008
Velocidade máxima do jato sem diluição (m/s):	0,058
Carga hidráulica mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,000
Carga hidráulica máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,000
Verificação da carga hidráulica mínima nos orifícios	Rever!
Verificação da carga hidráulica máxima nos orifícios	Rever!
Vazão mínima requerida para água de diluição (L/h):	2767,64
Vazão máxima requerida para água de diluição (L/h):	3027,64
Vazão de água de diluição mínima adotado (L/h):	2700
Vazão de água de diluição máxima adotado (L/h):	3200
Vazão mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	3000
Vazão máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (L/h):	3240
Velocidade mínima do jato com diluição (m/s):	0,58
Velocidade mínima do jato com diluição (m/s):	0,63
Carga hidráulica mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,048
Carga hidráulica máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,056
Concentração mínima da mistura (H ₂ O + produto químico) (kg/m ³):	8,1
Concentração máxima da mistura (H ₂ O + produto químico) (kg/m ³):	66,0
Diâmetro calculado para tubulação de produto químico (mm):	5,32
Diâmetro adotado para tubulação de produto químico (mm):	20

Planilha de Cálculos	
Velocidade mínima da solução de produto químico (m/s):	0,04
Velocidade máxima da solução de produto químico (m/s):	0,27
Diâmetro calculado para tubulação de água de diluição (mm):	43,70
Diâmetro adotado para tubulação de água de diluição (mm):	32
Velocidade mínima da água de diluição (m/s):	0,93
Velocidade máxima da água de diluição (m/s):	1,11
Diâmetro adotado para tubulação de água de diluição (mm):	150
Perda de carga mínima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,048
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (m.c.a):	0,056
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (mm):	47,8
Perda de carga máxima nos orifícios do difusor (mm):	55,8
Verificação da calha distribuidora para vazão mínima da água de diluição:	Ok!
Verificação da calha distribuidora para vazão máxima da água de diluição:	Ok!



ANEXOS

8 ANEXOS

8.1 ANEXO 1 – VERIFICAÇÃO DO PERFIL HIDRÁULICO DA ETA BOLONHA

Verificação do Perfil Hidráulico da ETA Bolonha

1. Considerações Iniciais

Este documento tem por finalidade apresentar a sequencia de cálculos do perfil hidráulico da ETA Bolonha com o objetivo principal de avaliar os níveis d'água a serem impostos em razão da ampliação de sua capacidade de tratamento. Desta forma os cálculos serão apresentados a partir do nível d'água imposto pelas unidades de jusante.

A vazão máxima admitida para a ETA deverá ser igual a 6.700 L/s já incorporando o reciclo da água de lavagem e também considerando-se a vazão máxima passível de ser fornecida pelo sistema de adução de água bruta e que é igual a 6.400 L/s

2. Vazões de dimensionamento

2.1 Vazão de operação sem o retorno da água de lavagem:	6400 L/s
2.2 Vazão de operação com o retorno da água de lavagem:	6700 L/s

3. Cálculo do nível d'água no canal geral de água filtrada a montante do vertedor Creager

Características do vertedor Creager

Largura do vertedor:	4,88 m
Cota da crista do vertedor Creager:	15,900 m

3.1 Vazão nominal (sem o retorno da água de lavagem):	6,400 m ³ /s
3.2 Vazão máxima (com o retorno da água de lavagem):	6,700 m ³ /s

$$Q = 2,2 \cdot B \cdot (h)^{3/2}$$

$$h = \left(\frac{Q}{2,2 \cdot B} \right)^{2/3}$$

Cálculo da lâmina d'água máxima no vertedor Creager

Altura da lâmina líquida para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,71 m
Altura da lâmina líquida para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,73 m

Nível d'água máximo no vertedor Creager sem o retorno da água de lavagem:	16,608 m
Nível d'água máximo no vertedor Creager com o retorno da água de lavagem:	16,630 m

4. Cálculo do nível d'água no canal de água filtrada das ETAs 1 e 2

Cada ETA possui um canal de coleta de água filtrada e ambos se reúnem em um canal geral de água filtrada gerando uma perda de carga localizada

Largura do canal geral de água filtrada:	4,88 m
Cota do fundo do canal geral de água filtrada:	13,900 m
Lâmina d'água no canal geral de água filtrada (vazão nominal):	2,708 m
Lâmina d'água no canal geral de água filtrada (vazão máxima):	2,730 m

Largura do canal individual de água filtrada:	2,00 m
Cota do fundo do canal individual de água filtrada:	14,940 m
Lâmina d'água no canal individual de água filtrada (vazão nominal):	1,668 m
Lâmina d'água no canal individual de água filtrada (vazão máxima):	1,690 m

Velocidade no canal geral de água filtrada (vazão nominal):	0,484 m/s
Velocidade no canal geral de água filtrada (vazão máxima):	0,503 m/s

Velocidade no canal individual de água filtrada (vazão nominal):	0,959 m/s
Velocidade no canal individual de água filtrada (vazão máxima):	0,991 m/s

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Com base na geometria dos canais individuais de água filtrada e do canal geral, pode-se adotar um valor de K igual a 5. Desta forma, tem-se que:

Coeficiente de perda de carga adotado:	5	
Perda de carga calculada para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,060 m
Perda de carga calculada para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,064 m
Perda de carga calculada para vazão nominal:	$\Delta H =$	5,98 cm
Perda de carga calculada para vazão máxima:	$\Delta H =$	6,44 cm

5. Cálculo do nível d'água no canal de água filtrada das ETAs 1 e 2 em seu ponto extremo

Os canais individual de coleta de água filtrada de cada ETA apresentam comprimentos de 61,0 metros cada. Desta forma, devem ser calculadas as suas perdas de carga distribuídas.

$$h_d = \frac{(V.n)^2 L_c}{R_h^{4/3}}$$

Nível d'água de jusante no canal de água filtrada (vazão nominal): 1,728 m
Nível d'água de jusante no canal de água filtrada (vazão máxima): 1,755 m

Largura do canal individual de água filtrada:	B=	2,00 m
Coefficiente de Manning adotado:	n=	0,013
Comprimento dos trechos retos:	L=	61,0 m
Raio Hidráulico (vazão nominal):	Rh=	0,633 m
Área da secção de escoamento (vazão nominal):	A=	3,456 m ²
Raio Hidráulico (vazão máxima):	Rh=	0,637 m
Área da secção de escoamento (vazão máxima):	A=	3,509 m ³

Perda de carga unitária para vazão nominal:	j=	2,857E-04	m/m
Perdas de carga distribuídas para vazão nominal:	ΔH =	0,01743	m

Perda de carga unitária para vazão máxima:	j=	3,028E-04	m/m
Perdas de carga distribuídas para vazão máxima:	ΔH =	0,01847	m

Desta forma, efetuando-se a soma das perdas de cargas localizadas e distribuídas no canal de coleta de água filtrada de ambas as ETAs 1 e 2, tem-se os seguintes níveis d'água esperados

Nível d'água no canal de água filtrada para vazão nominal: 1,746 m
Nível d'água no canal de água filtrada para vazão máxima: 1,773 m

Cota do nível d'água para vazão nominal: 16,686 m
Cota do nível d'água para vazão máxima: 16,713 m

6. Níveis d'água no sistema de filtração

Premissas de Cálculo

Área do filtro:	144	m ²
Carga hidráulica disponível:	2,00	m
Cota do vertedor de saída de água filtrada:	16,940	m
Cota da borda da calha de coleta de água de lavagem	17,900	m

O dimensionamento do sistema de filtração com taxa declinante apresenta alguns valores de perda de carga relevantes e que definem os seus níveis d'água

Para as vazões afluentes iguais a 6,4 m³/s e 6,7 m³/s, as taxas de filtração médias deverão ser iguais a 240 m³/m²/dia e 251 m³/m²/dia

Perda de carga no meio filtrante limpo trabalhando com uma taxa de filtração igual a 251 m³/m².dia

$$\Delta H = 0,434 \text{ m}$$

Desnível entre lavagens de unidades de filtração (N2-N1):	(N2-N1)=	0,32 m
Desnível durante a lavagem do filtro mais sujo (N3-N2):	(N3-N2)=	0,03 m

Deste modo, tem-se que os nível d'água no sistema de filtração deverão ser iguais a:

Nível d'água para todos os filtros limpos	N.A.=	17,374 m
Nível d'água para os filtros após a lavagem do filtro mais sujo da bateria	N.A.=	18,620 m
Nível d'água para os filtros antes da lavagem do filtro mais sujo da bateria	N.A.=	18,940 m
Nível d'água para os filtros durante a lavagem do filtro mais sujo da bateria	N.A.=	18,970 m

De acordo com os cálculos efetuados são esperadas seguintes taxas de filtração para os filtros para a condição de vazão máxima

Operação Normal	
Filtro	Taxas de Filtração (m ³ /m ² /dia)
F1	597,04
F2	531,2
F3	468,1
F4	408,66
F5	353,7
F6	303,81
F7	259,3
F8	220,17
F9	186,2
F10	157,01
F11	132,12
F12	111
F13	93,16
F14	78,13
F15	65,5
F16	54,89

Durante Lavagem	
Filtro	Taxas de Filtração (m ³ /m ² /dia)
F1	603,6
F2	537,56
F3	473,97
F4	414,12
F5	358,75
F6	308,37
F7	263,29
F8	223,64
F9	189,25
F10	159,57
F11	134,3
F12	112,84
F13	94,72
F14	79,44
F15	66,61
F16	Em lavagem

7. Cota do nível d'água no vertedor de saída de água filtrada

Largura do vertedor:	5,8 m
Área de filtração:	144 m ²
Taxa de filtração máxima do filtro:	603,6 m ³ /m ² /dia
Vazão máxima do filtro:	1,006 m ³ /s

$$H_{vert.} = \left(\frac{Q_v}{1,838.L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Carga hidráulica máxima sobre o vertedor:	$\Delta H =$	0,207	m
Cota do nível d'água no vertedor de água filtrada para vazão máxima	$\Delta H =$	17,147	m

8. Determinação da cota do nível d'água no canal geral de água decantada

A cota do nível d'água máximo no canal de água decantada deverá ser ditada pelas unidades de filtração. Do ponto de vista hidráulico, ele deverá ser tratado como um conjunto de três trechos em série

Cota do nível d'água máximo no sistema de filtração (Vazão máxima):	18,970 m
Cota do fundo do canal geral de água filtrada:	17,550 m
Lâmina d'água no canal geral de água decantada (vazão máxima):	1,420 m

8.1 Canal de água decantada - Trecho 1

Vazão do canal no trecho 1:	$Q =$	1,675 m ³ /s
Velocidade no trecho 1:	$v =$	0,590 m/s

Determinação das perdas de cargas distribuídas

$$h_d = \frac{(V.n)^2 L_c}{R_h^{4/3}}$$

Largura do canal individual de água filtrada:	$B =$	2,00 m
Coefficiente de Manning adotado:	$n =$	0,013
Comprimento dos trechos retos:	$L =$	57,0 m
Raio Hidráulico (vazão máxima):	$R_h =$	0,587 m
Área da secção de escoamento (vazão máxima):	$A =$	2,840 m ²
Perda de carga unitária para vazão máxima:	$j =$	1,197E-04 m/m
Perdas de carga distribuídas para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,00682 m
Perdas de carga distribuídas para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,68211 cm

Determinação das perdas de cargas localizadas

A perda de carga mais significativa no trecho 1 é uma curva 90 cujo valor de K pode ser adotado como sendo igual a 1,67

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Coeficiente de perda de carga adotado: 1,67

Perda de carga calculada para vazão máxima: $\Delta H = 0,030$ m
 Perda de carga calculada para vazão máxima: $\Delta H = 2,961$ cm

8.2 Canal de água decantada - Trecho 2

Vazão do canal no trecho 2: $Q = 3,35$ m³/s
 Velocidade no trecho 2: $v = 0,737$ m/s

Determinação das perdas de cargas distribuídas

$$h_d = \frac{(V \cdot n)^2 L_c}{R_h^{4/3}}$$

Largura do canal individual de água filtrada: $B = 3,20$ m
 Coeficiente de Manning adotado: $n = 0,013$
 Comprimento dos trechos retos: $L = 32,0$ m
 Raio Hidráulico (vazão máxima): $R_h = 0,752$ m
 Área da secção de escoamento (vazão máxima): $A = 4,544$ m²

Perda de carga unitária para vazão máxima: $j = 1,342E-04$ m/m
 Perdas de carga distribuídas para vazão máxima: $\Delta H = 0,00430$ m
 Perdas de carga distribuídas para vazão máxima: $\Delta H = 0,42958$ cm

Determinação das perdas de cargas localizadas

A perda de carga mais significativa no trecho 2 é uma bifurcação cujo valor de K pode ser adotado como sendo igual a 1,65

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Coeficiente de perda de carga adotado: 1,65

Perda de carga calculada para vazão máxima: $\Delta H = 0,046$ m
 Perda de carga calculada para vazão máxima: $\Delta H = 4,571$ cm

8.3 Canal de água decantada - Trecho 3

Vazão do canal no trecho 3:	Q=	1,675 m ³ /s
Velocidade no trecho 3:	v=	0,369 m/s

Determinação das perdas de cargas distribuídas

$$h_d = \frac{(V \cdot n)^2 L_c}{R_h^{4/3}}$$

Largura do canal individual de água filtrada:	B=	3,20 m
Coefficiente de Manning adotado:	n=	0,013
Comprimento dos trechos retos:	L=	18,1 m
Raio Hidráulico (vazão máxima):	Rh=	0,752 m
Área da secção de escoamento (vazão máxima):	A=	4,544 m ²

Perda de carga unitária para vazão máxima:	j=	3,356E-05	m/m
Perdas de carga distribuídas para vazão máxima:	ΔH =	0,00061	m
Perdas de carga distribuídas para vazão máxima:	ΔH =	0,06075	cm

Determinação das perdas de cargas localizadas

A perda de carga mais significativa no trecho 3 é a existência de um trecho afogado, podendo-se admitir uma entrada e saída de canal

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Entrada de tubulação:	K=	0,5
Saída de tubulação:	K=	1,0
Total:		1,5

Coefficiente de perda de carga adotado: 1,5

Perda de carga calculada para vazão máxima:	ΔH =	0,010 m
Perda de carga calculada para vazão máxima:	ΔH =	1,039 cm

8.4 Determinação do nível d'água máximo no canal de água decantada

Somatória das perdas de carga distribuídas:	ΔH =	0,0117 m
Somatória das perdas de carga distribuídas:	ΔH =	1,172 cm

Somatória das perdas de carga localizadas:	ΔH =	0,0857 m
Somatória das perdas de carga localizadas:	ΔH =	8,571 cm

Perdas de carga total:	$\Delta H =$	0,0974 m
Perdas de carga total:	$\Delta H =$	9,743 cm
Nível d'água no canal de água decantada para vazão máxima:		1,517 m
Cota do nível d'água para vazão máxima:		19,067 m

9. Verificação do nível d'água no canal lateral de coleta de água decantada

Cada conjunto de três decantadores possui um canal lateral de coleta de água decantada que permite o seu envio ao canal geral de água decantada

Dados relevantes para o cálculo

Vazão da ETA Bolonha:	6700 L/s
Vazão da ETA Bolonha:	6,70 m ³ /s
Número de canais laterais de coleta de água decantada:	4
Largura do canal lateral:	1,6 m
Cota do fundo do canal lateral de água decantada:	18,840 m

O nível máximo no canal lateral pode ser calculado por intermédio da seguinte expressão

$$h_0 = \sqrt{h_1^2 + \frac{2 \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_1}}$$

Vazão (L/s):		1675
Largura da calha de coleta (m):		1,6
Vazão unitária (L/s.m):		1046,875
Aceleração da gravidade (m/s ²):		9,81
Submergência do nível d'água (m):		0,227
Profundidade crítica (m):		0,482
Profundidade adotada para cálculo (m):		0,482
Altura máxima do nível d'água (m):	$\Delta H =$	0,834 m
Cota do nível d'água máximo no canal lateral de água decantada:		19,674 m

10. Verificação do nível d'água nas calhas de coleta de água decantada

A ETA Bolonha possui um total de 12 decantadores e cada decantador possui um total de 9 calhas de coleta de água decantada. O cálculo será efetuado admitindo-se 11 decantadores em operação e 1 unidade em manutenção

Dados relevantes para o cálculo

Vazão da ETA Bolonha:	6700,000 L/s
Vazão da ETA Bolonha:	6,70 m ³ /s
Número de decantadores em operação:	11
Número de calhas por decantador:	9
Largura da calha de coleta de água decantada:	0,4 m
Cota do fundo da calha de coleta de água decantada:	19,800 m

O nível máximo na calha pode ser calculado por intermédio da seguinte expressão

$$h_0 = \sqrt{h_1^2 + \frac{2 \cdot Q^2}{g \cdot b^2 \cdot h_1}}$$

Vazão (L/s):	74,44
Largura da calha de coleta (m):	0,4
Vazão unitária (L/s.m):	186,11111
Aceleração da gravidade (m/s ²):	9,81
Submergência do nível d'água (m):	0
Profundidade crítica (m):	0,152
Profundidade adotada para cálculo (m):	0,152
Altura máxima do nível d'água (m):	$\Delta H =$ 0,264 m
Cota do nível d'água máximo na calha de coleta de água decantada:	20,064 m

11. Verificação do nível d'água nos decantadores

Os decantadores possuem o seu nível d'água definido pelos vertedores de coleta de água decantada.

Características dos vertedores e calhas de coleta de água decantada

Número de decantadores:	12
Número de calhas de coleta de água decantada por decantador:	9,0
Comprimento individual de cada calha:	25 m
Largura da calha:	0,4 m
Altura útil da calha	0,4 m

Características dos vertedores triangulares

Largura total:	15 cm
Largura unitária:	12 cm

Vazão por calha de coleta de água de lavagem

Vazão individual para vazão nominal:	0,06 m ³ /s	59,26 L/s
Vazão individual para vazão máxima:	0,06 m ³ /s	62,04 L/s

Vazão individual para vazão nominal com uma unidade fora de operação:	0,07 m ³ /s	71,11 L/s
Vazão individual para vazão máxima com uma unidade fora de operação:	0,07 m ³ /s	74,44 L/s

Comprimento linear das calhas de coleta de água decantada:	450 m
--	-------

Número de vertedores triangulares por decantador:	3000
---	------

Vazão por vertedor triangular para vazão nominal:	0,178 L/s
Vazão por vertedor triangular para vazão máxima:	0,186 L/s
Vazão por vertedor triangular para vazão nominal menos um decantador em operação:	0,213 L/s
Vazão por vertedor triangular para vazão máxima menos um decantador em operação:	0,223 L/s

Cálculo da lâmina líquida nos vertedores triangulares

Altura da lâmina líquida para vazão nominal:	$\Delta H =$	2,72 cm
Altura da lâmina líquida para vazão máxima:	$\Delta H =$	2,77 cm
Altura da lâmina líquida para vazão nominal e um decantador fora de operação:	$\Delta H =$	2,92 cm
Altura da lâmina líquida para vazão máxima e um decantador fora de operação:	$\Delta H =$	2,98 cm

$$h = \left(\frac{Q}{1,46} \right)^{2/5}$$

Uma vez que os vertedores triangulares possuem largura individual igual a 12 cm e altura igual a 6 cm tem-se que os mesmos são adequados uma vez que a lâmina líquida para vazão máxima resulta inferior.

A cota referenciada da crista dos vertedores triangulares dos decantadores da ETA Bolonha é igual a 20,200 m. Deste modo, considerando a nova elevação em função do aumento de vazão, tem-se que:

Cota da crista dos vertedores triangulares na ETA Bolonha: 20,200 m

Cota do nível d'água nos decantadores da ETA Bolonha para vazão nominal: 20,227 m

Cota do nível d'água nos decantadores da ETA Bolonha para vazão máxima: 20,228 m

Cota do nível d'água nos decantadores da ETA Bolonha para vazão nominal e um decantador fora de operação: 20,229 m

Cota do nível d'água nos decantadores da ETA Bolonha para vazão máxima e um decantador fora de operação: 20,230 m

12. Verificação do nível d'água no canal geral de água decantada

A entrada da água floculada em cada unidade de sedimentação é efetuada por duas comportas submersas de secção quadrada com dimensão igual a 1.200 mm

Dimensões da comporta de entrada de água floculada

Número de comportas:	2	unidades
Largura:	1,2	m
Altura:	1,2	m
Área unitária da comporta:	1,44	m ²
Área total das comporta:	2,88	m ²
Coeficiente de descarga:	0,6	

Número total de decantadores: 12 unidades

Número de decantadores em operação (1 unidade em manutenção): 11 unidaes

Cálculo do nível d'água considerando 12 unidades em operação

Vazão nominal afluyente a cada decantador laminar: 0,533 m³/s
Vazão máxima afluyente a cada decantador laminar: 0,582 m³/s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	4,86E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	5,78E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,49	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,58	cm

Cálculo do nível d'água considerando 11 unidades em operação

Vazão nominal afluyente a cada decantador laminar: 0,640 m³/s
Vazão máxima afluyente a cada decantador laminar: 0,670 m³/s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	6,99E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	7,66E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,70	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,77	cm

Cota do nível d'água no canal de água decantada da ETA Bolonha para vazão nominal:	20,232 m
Cota do nível d'água no canal de água decantada da ETA Bolonha para vazão máxima:	20,233 m
Cota do nível d'água no canal de água decantada para vazão nominal e um decantador fora de operação:	20,236 m
Cota do nível d'água no canal de água decantada para vazão máxima e um decantador fora de operação:	20,237 m

13. Verificação do nível d'água no sistema de floculação

13.1 Determinação no nível d'água na terceira câmara de floculação

A passagem da água floculada a partir da terceira câmara de floculação para o canal geral de água floculada é efetuada por meio de duas comportas de superfície com largura unitária igual a 1.200 mm

Dimensões da comporta de saída de água floculada

Número de comportas:	2	unidades
Largura:	1,2	m
Altura:	1,2	m
Área unitária da comporta:	1,44	m ²
Área total das comportas:	2,88	m ²
Coefficiente de descarga:	0,6	

Número total de floculadores:	12 unidades
Número de floculadores em operação (1 unidade em manutenção):	11 unidaes

Cálculo do nível d'água considerando 12 unidades de floculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floculação:	0,533 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floculação:	0,558 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	4,86E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	5,32E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,49	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,53	cm

Cálculo do nível d'água considerando 11 unidades de floclulação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floclulação:	0,640 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floclulação:	0,670 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	6,99E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	7,66E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,70	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,77	cm

Cota do nível d'água na terceira câmara de floclulação para vazão nominal:	20,237 m
Cota do nível d'água na terceira câmara de floclulação para vazão máxima:	20,239 m
Cota do nível d'água na terceira câmara de floclulação para vazão nominal e um floclulador fora de operação:	20,243 m
Cota do nível d'água na terceira câmara de floclulação para vazão máxima e um floclulador fora de operação:	20,245 m

13.2 Determinação no nível d'água na segunda câmara de floclulação

A passagem da água floclulada a partir da segunda para a terceira câmara de floclulação é efetuada por meio de passagem submersa

Dimensões da passagem da água floculada

Número de passagens:	1	unidades
Largura:	1,5	m
Altura:	1,5	m
Área unitária da comporta:	2,25	m ²
Área total das comportas:	2,25	m ²
Coefficiente de descarga:	0,6	

Número total de floculadores:	12 unidades
Número de floculadores em operação (1 unidade em manutenção):	11 unidades

Cálculo do nível d'água considerando 12 unidades de floculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floculação:	0,533 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floculação:	0,558 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	7,95E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	8,72E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,80	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,87	cm

Cálculo do nível d'água considerando 11 unidades de floculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floculação:	0,640 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floculação:	0,670 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,15E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	1,26E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,15	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	1,26	cm

Cota do nível d'água na segunda câmara de flocculação para vazão nominal:	20,245 m
Cota do nível d'água na segunda câmara de flocculação para vazão máxima:	20,247 m
Cota do nível d'água na segunda câmara de flocculação para vazão nominal e um flocculador fora de operação:	20,255 m
Cota do nível d'água na segunda câmara de flocculação para vazão máxima e um flocculador fora de operação:	20,258 m

13.3 Determinação no nível d'água na primeira câmara de flocculação

A passagem da água flocculada a partir da primeira para a segunda câmara de flocculação é efetuada por meio de passagem submersa

Dimensões da passagem da água flocculada

Número de passagens:	1	unidades
Largura:	1,5	m
Altura:	1,5	m
Área unitária da comporta:	2,25	m ²
Área total das comportas:	2,25	m ²
Coefficiente de descarga:	0,6	

Número total de flocculadores:	12 unidades
Número de flocculadores em operação (1 unidade em manutenção):	11 unidades

Cálculo do nível d'água considerando 12 unidades de flocculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de flocculação:	0,533 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de flocculação:	0,558 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	7,95E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	8,72E-03	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,80	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,87	cm

Cálculo do nível d'água considerando 11 unidades de floculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floculação:	0,640 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floculação:	0,670 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,15E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	1,26E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,15	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	1,26	cm

Cota do nível d'água na primeira câmara de floculação para vazão nominal: 20,253 m

Cota do nível d'água na primeira câmara de floculação para vazão máxima: 20,256 m

Cota do nível d'água na primeira câmara de floculação para vazão nominal e um floculador fora de operação: 20,266 m

Cota do nível d'água na primeira câmara de floculação para vazão máxima e um floculador fora de operação: 20,270 m

14. Verificação do nível d'água no canal de água coagulada a montante das unidades de floculação

A entrada de água coagulada em cada unidade de floculação é efetuada por meio de uma comporta submersa com dimensão igual a 1.200 mm

Dimensões da comporta de entrada de água coagulada na unidade de floculação

Número de comportas:	1	unidades
Largura:	1,2	m
Altura:	1,2	m
Área unitária da comporta:	1,44	m ²
Área total das comportas:	1,44	m ²
Coefficiente de descarga:	0,6	

Número total de floculadores:	12 unidades
Número de floculadores em operação (1 unidade em manutenção):	11 unidaes

Cálculo do nível d'água considerando 12 unidades de floculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floculação:	0,533 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floculação:	0,558 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,94E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	2,13E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,94	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	2,13	cm

Cálculo do nível d'água considerando 11 unidades de floculação em operação

Vazão nominal afluyente a cada unidade de floculação:	0,640 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada unidade de floculação:	0,670 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	2,80E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	3,06E-02	m
Perda de carga na comporta para vazão nominal:	$\Delta H =$	2,80	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	$\Delta H =$	3,06	cm

Cota do nível d'água no canal de água coagulada a montante dos floculadores para vazão nominal:	20,272 m
Cota do nível d'água no canal de água coagulada a montante dos floculadores para vazão máxima:	20,277 m
Cota do nível d'água no canal de água coagulada para vazão nominal e um floculador fora de operação:	20,294 m
Cota do nível d'água no canal de água coagulada para vazão máxima e um floculador fora de operação:	20,301 m

15. Verificação do nível d'água no canal de água coagulada a jusante da Calha Parshall

Cada ETA possui um canal de água coagulada possibilitando o seu envio para as respectivas unidades de floculação

Largura do canal de água coagulada:	3,5 m
Cota do fundo do canal geral de água coagulada:	17,530 m
Lâmina d'água no canal de água coagulada (vazão nominal):	2,764 m
Lâmina d'água no canal geral de água coagulada (vazão máxima):	2,771 m

Velocidade no canal de água coagulada (vazão nominal):	0,331 m/s
Velocidade no canal geral de água coagulada (vazão máxima):	0,345 m/s

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Com base na geometria dos canais individuais de água coagulada, a perda de carga localizada mais relevante é uma curva 90o com um valor de K igual a 1,67. Desta forma, tem-se que:

Coeficiente de perda de carga adotado:	2		
Perda de carga calculada para vazão nominal:	$\Delta H =$	0,011	m
Perda de carga calculada para vazão máxima:	$\Delta H =$	0,012	m
Perda de carga calculada para vazão nominal:	$\Delta H =$	1,12	cm
Perda de carga calculada para vazão máxima:	$\Delta H =$	1,22	cm

Os canais individual de água coagulada de cada ETA apresentam comprimentos de 103 metros cada. Desta forma, devem ser calculadas as suas perdas de carga distribuídas.

$$h_d = \frac{(V \cdot n)^2 L_c}{R_h^{4/3}}$$

Nível d'água de jusante no canal de água coagulada (vazão nominal):	2,764	m
Nível d'água de jusante no canal de água coagulada (vazão máxima):	2,771	m
Largura do canal individual de água coagulada:	B =	3,50 m
Coeficiente de Manning adotado:	n =	0,013
Comprimento dos trechos retos:	L =	103,0 m
Raio Hidráulico (vazão nominal):	R _h =	1,072 m
Área da secção de escoamento (vazão nominal):	A =	9,674 m ²
Raio Hidráulico (vazão máxima):	R _h =	1,073 m
Área da secção de escoamento (vazão máxima):	A =	9,698 m ³

Perda de carga unitária para vazão nominal:	j = 1,686E-05	m/m
Perdas de carga distribuídas para vazão nominal:	$\Delta H = 0,00174$	m

Perda de carga unitária para vazão máxima:	j = 1,837E-05	m/m
Perdas de carga distribuídas para vazão máxima:	$\Delta H = 0,00189$	m

Desta forma, efetuando-se a soma das perdas de cargas localizadas e distribuídas no canal de água coagulada de ambas as ETAs 1 e 2, tem-se os seguintes níveis d'água esperados

Nível d'água no canal de água coagulada a jusante da Calha Parshall para vazão nominal:	2,777	m
Nível d'água no canal de água coagulada a jusante da Calha Parshall para vazão máxima:	2,785	m

Cota do nível d'água para vazão nominal:	20,307 m
Cota do nível d'água para vazão máxima:	20,315 m

16. Verificação do nível d'água nas Calhas Parshall

A ETA Bolonha possui duas Calhas Parshall que possibilitam o envio da água bruta para ambas as ETAs 1 e 2. Desta forma, a vazão afluyente a cada uma delas pode ser considerada como metade da vazão afluyente.

Vazão nominal afluyente a cada Calha Parshall:	3200 L/s
Vazão máxima afluyente a cada Calha Parshall:	3350 L/s

Cada Calha Parshall apresenta uma largura de garganta igual a 183 cm. A sua equação de descarga pode ser escrita da seguinte forma:

Calha Parshall (cm):	183,00
Temperatura (C):	20,00
Equação de Descarga	
k:	0,3890
n:	0,6290

$$H = K \cdot Q^n$$

Dimensões da Calha Parshall escolhida

W (cm)=	183
A (cm)=	213,5
B (cm)=	209
C (cm)=	213,5
D (cm) =	266,7
E (cm) =	91,5
F (cm) =	61
G (cm) =	91,5
K (cm) =	7,6
N (cm) =	22,9
X (cm) =	5,1
Y (cm) =	7,6

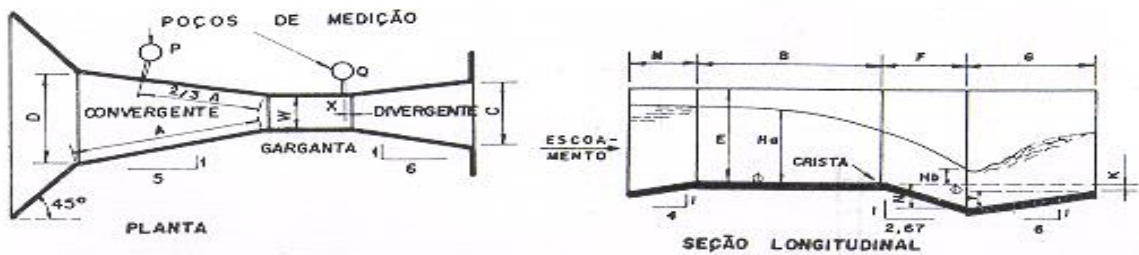


FIGURA 8.15 - VERTEDEDOR PARSHALL, E DIMENSÕES PADRONIZADAS

Os cálculos hidráulicos da Calha Parshall para as vazões nominal e máxima estão apresentadas a seguir

	3200 L/s	3.350 L/s
Largura na secção de medição (cm)=	238,80	238,80
Altura da lamina líquida na secção (m)=	0,809	0,832
Velocidade na secção (m/s)=	1,657	1,686
Energia na secção de medição (m)=	1,178	1,206
Cosseno do ângulo fictício=	-0,797	-0,805
Ângulo fictício=	142,816	143,580
Velocidade na secção 1 (m/s)=	3,742	3,769
Altura de água no início do ressalto (m)=	0,464	0,482
Cálculo do Número de Froude=	1,754	1,733
Altura conjugada do ressalto y_3 (m)=	0,942	0,965
Altura no final do trecho divergente y_2 (m)=	0,789	0,812
Velocidade no trecho divergente V_2 (m/s)=	1,900	1,933
Perda de carga no ressalto (m)=	0,096	0,096
Tempo de detenção no ressalto (s)=	0,324	0,321
Gradiente de velocidade (s-1)=	1697,039	1712,795

As cotas de implantação da Calha Parshall na ETA Bolonha são as seguintes:

Entrada da Calha Parshall no trecho convergente:	20,360 m
Garganta da Calha Parshall no início do trecho divergente:	20,130 m
Saída da Calha Parshall no final do trecho divergente:	20,270 m

Desta forma, as cotas dos níveis d'água na Calha Parshall para as vazões nominal e máxima deverão ser iguais a:

Cota do nível d'água na saída da Calha Parshall para vazão nominal:	21,059 m
Cota do nível d'água na saída da Calha Parshall para vazão máxima:	21,082 m

Cota do nível d'água na garganta da Calha Parshall para vazão nominal:	20,594 m
Cota do nível d'água na garganta da Calha Parshall para vazão máxima:	20,612 m

Cota do nível d'água na entrada da Calha Parshall para vazão nominal:	21,169 m
Cota do nível d'água na entrada da Calha Parshall para vazão máxima:	21,192 m

17. Verificação do nível d'água na estrutura de chegada de água bruta

A estrutura de chegada de água bruta em cada ETA é dotada de duas comportas submersas com secção quadrada e igual a 1.200 mm cada

Cálculo do nível d'água a montante das comportas

Vazão nominal afluyente a cada ETA:	3,200 m ³ /s
Vazão máxima afluyente a cada ETA:	3,350 m ³ /s

$$h_c = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{C.S} \right)^2$$

Dimensões das comportas de entrada de água bruta em cada ETA

Número de comportas:	2	unidades
Largura:	1,2	m
Altura:	1,2	m
Área unitária da comporta:	1,44	m ²
Área total das comportas:	2,88	m ²
Coefficiente de descarga:	0,6	

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	ΔH=	1,75E-01	m
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	ΔH=	1,92E-01	m

Perda de carga na comporta para vazão nominal:	ΔH=	17,48	cm
Perda de carga na comporta para vazão máxima:	ΔH=	19,16	cm

Cota do nível d'água na estrutura de chegada de água bruta para vazão nominal:	21,343 m
Cota do nível d'água na estrutura de chegada de água bruta para vazão máxima:	21,384 m