



Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, nº 271
Cidade Universitária – Butantã
CEP. 05508-900
São Paulo – Capital
Tel.: 3091-5220 Fax: 3091-5423

**ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
HIDRÁULICA E AMBIENTAL**



**DEPARTAMENTO DE ÁGUA
E ESGOTO S/A
MUNICÍPIO DE JUNDIAÍ**



NOVEMBRO DE 2014

O conteúdo e as conclusões aqui apresentadas são da exclusiva responsabilidade do autor e não refletem, necessariamente, as opiniões da Universidade de São Paulo.

Prof. Associado Sidney Seckler Ferreira Filho
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. APRESENTAÇÃO DA ETA ANHANGABAÚ	6
3. AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS UNITÁRIOS DA ETA ANHANGABAÚ E VAZÕES MÁXIMAS DE TRATAMENTO	15
3.1 ESTABELECIMENTO DAS VAZÕES DE TRATAMENTO	15
3.2 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO	17
3.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO	19
3.4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO	21
3.5 COMPATIBILIDADE ENTRE OS PROCESSOS UNITÁRIOS DA ANHANGABAÚ E VAZÃO AFLUENTE	23
4. DEFINIÇÃO DO CONJUNTO DE MELHORIAS DA ETA ANHANGABAÚ E AVALIAÇÃO DE SEU PERFIL HIDRÁULICO	25
4.1 UNIDADE DE MISTURA RÁPIDA	25
4.2 UNIDADES DE FLOCULAÇÃO	28
4.3 UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO	43
4.4 UNIDADES DE FILTRAÇÃO	47
5. CONCLUSÕES	50

1. INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água, coleta, afastamento e tratamento de esgotos da Cidade de Jundiaí são de responsabilidade do Departamento de Água e Esgoto S/A, doravante denominada de DAE Jundiaí. Atualmente, o seu sistema de produção de água é composto primordialmente por uma estação de tratamento de água denominada de ETA Anhangabaú, sendo que sua capacidade nominal de tratamento é igual a 2,0 m³/s. Os principais mananciais que abastece a referida ETA são o Rio Jundiaí-Mirim e reforçado pelo Rio Atibaia em períodos de estiagem. A Figura 1 apresenta uma vista geral do município de Jundiaí e o posicionamento da ETA Anhangabaú operada pelo DAE Jundiaí.

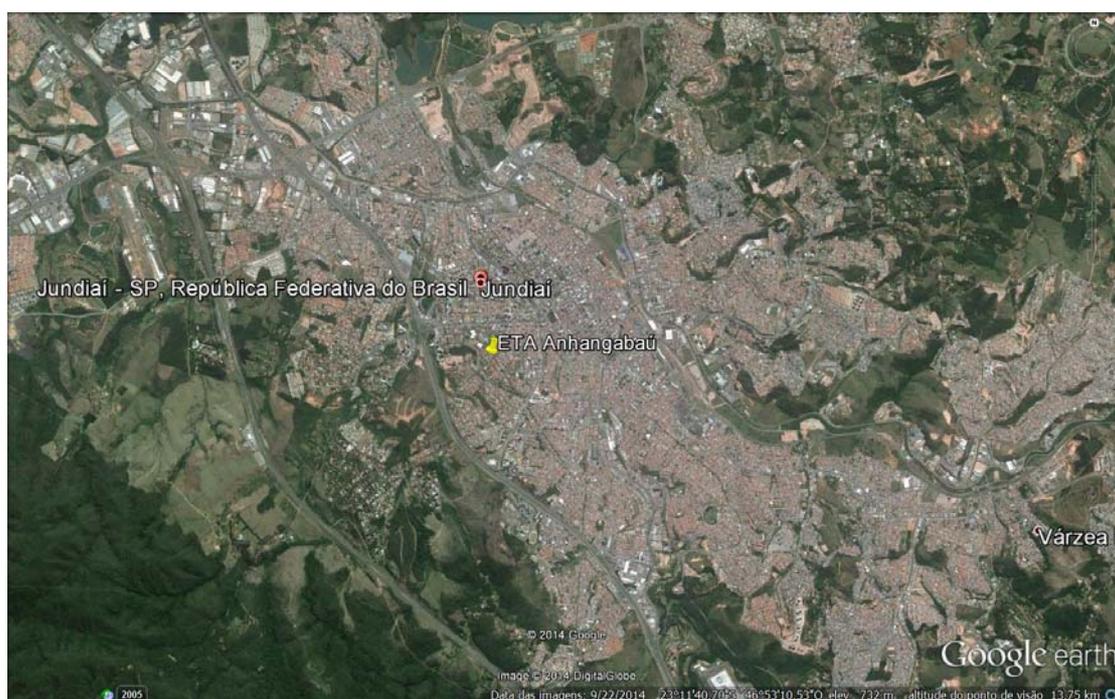


Figura 1 – Posicionamento da ETA Anhangabaú em relação ao município de Jundiaí

A ETA Anhangabaú é do tipo convencional de ciclo completo, tendo por processos unitários principais as etapas de coagulação química, floculação, sedimentação, filtração, fluoretação, desinfecção e correção final de pH.

A última obra de adequação dos seus processos de tratamento ocorreu na década de 90, quando por meio de implantação de um conjunto de obras e melhorias operacionais, que permitiram que a sua capacidade nominal fosse aumentada de 900 L/s para 2.000 L/s.

Tendo em vista que as tecnologias de tratamento de águas de abastecimento desde então apresentaram significativos avanços tecnológicos, torna-se interessante avaliar se algumas desta poderiam ser implementadas na ETA Anhangabaú de modo a possibilitar um aumento em sua capacidade de produção de água sem que fosse necessário considerar a construção de unidades ou módulos de tratamento adicionais.

Em razão do exposto e, considerando a necessidade de aumento da capacidade de produção de água tendo por fim o atendimento da demanda do município de Jundiaí, este Relatório objetiva efetuar uma análise hidráulica e de processos unitários da ETA Anhangabaú tendo por finalidade avaliar a possibilidade de aumento de vazão, dos atuais $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$ para um valor acima de sua capacidade nominal de projeto que é de aproximadamente $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. APRESENTAÇÃO DA ETA ANHANGABAÚ

A estação de tratamento de água Anhangabaú foi implantada no ano de 1969 com capacidade inicial igual a 900 L/s, tendo sido a mesma concebida com quatro módulos de tratamento (conjunto unidade de floculação mais unidade de sedimentação). O projeto original da ETA Anhangabaú foi posteriormente reavaliado pela SEREC na década de 90 e, por meio de modificações nos módulos de tratamento (construção de uma nova estrutura de chegada de água bruta e unidade de mistura rápida, ampliação das unidades de floculação e reforma das unidades de filtração), possibilitou que a sua capacidade nominal de tratamento fosse ampliada para 2.000 L/s.

Embora sem acesso aos documentos, descritivos e memórias de cálculo do projeto original, os documentos relativos à ampliação da capacidade de produção de água da ETA Anhangabaú relatam que a mesma poderia ser futuramente aumentada para 3.000 L/s por meio de construção do quinto módulo de tratamento, mas que, no entanto, encontra-se comprometido pela inexistência de área disponível para a construção das unidades.

Atualmente, a ETA Anhangabaú encontra-se operando com uma vazão máxima em torno de 1.850 L/s, sendo que esta apresenta variações horárias de acordo com a demanda exercida pelo sistema de distribuição. Com a necessidade de aumentar a oferta de água tratada com vistas a possibilitar uma maior confiabilidade na operação do sistema de abastecimento de água e, levando-se em consideração o fato de que a concepção da ETA Anhangabaú é da década de 80, torna-se relevante avaliar quais modificações podem ser implementadas em curto prazo e que permitam um aumento na vazão de água tratada.

A ETA Anhangabaú foi concebida como sendo do tipo convencional de ciclo completo, composto por processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção final de pH. A Figura 2 apresenta uma vista geral da mesma e sua disposição na área de implantação.



Figura 2 – Disposição geral da ETA Anhangabaú na área de implantação do sistema de produção de água

A Figura 3 apresenta um fluxograma indicativo da ETA Anhangabaú e a disposição de seus processos unitários e pontos de aplicação de produtos químicos.

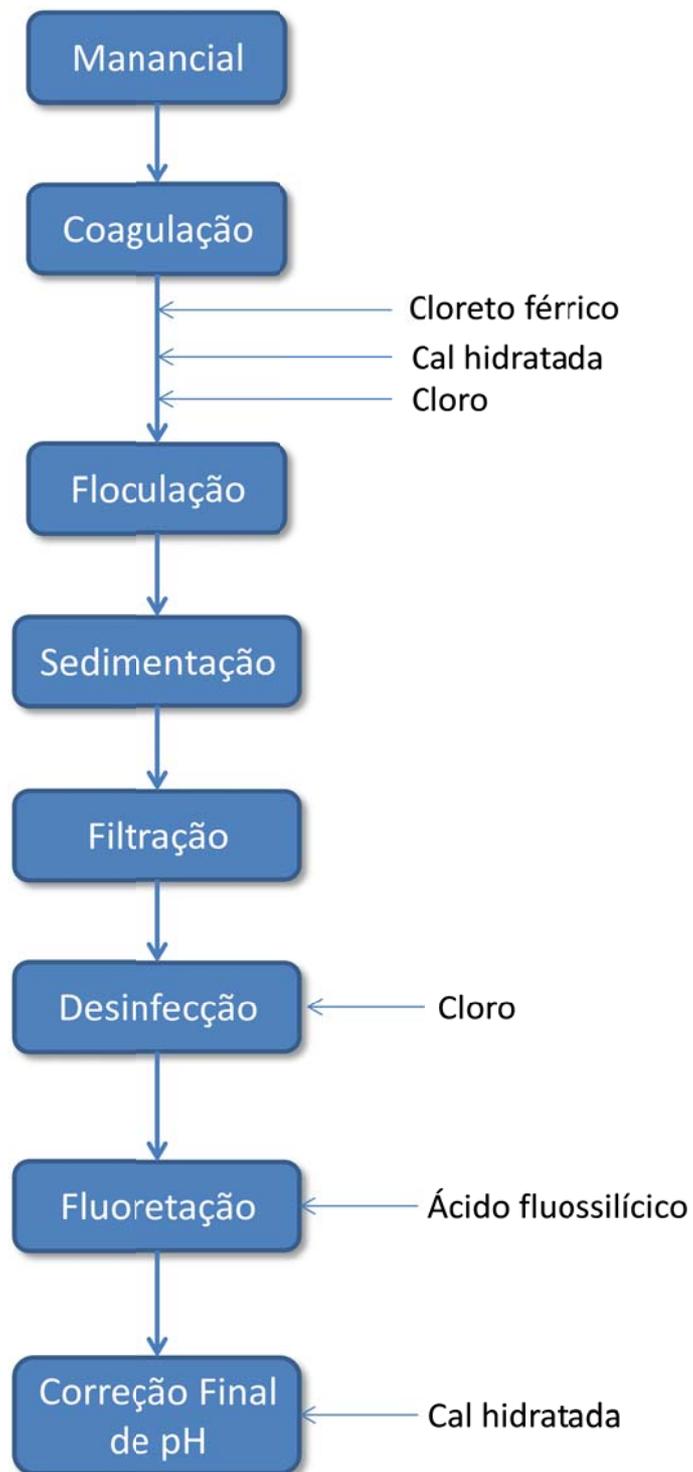


Figura 3 – Disposição dos processos unitários da ETA Anhangabaú e pontos de aplicação de produtos químicos

A água bruta aduzida a partir da captação chega a ETA Anhangabaú por recalque por meio de uma adutora de 1.500 mm de diâmetro e a mesma descarrega em uma estrutura de chegada de água bruta que, imediatamente a envia a um canal com 1,75 metros de largura e altura útil igual a 1,40 metros. A Figura 4 apresenta uma vista geral do canal de chegada de água bruta existente e ponto atual de aplicação de coagulante.



Figura 4 – Vista geral do canal de chegada de água bruta na ETA Anhangabaú

O processo de coagulação é atualmente conduzido por meio de dispersão do coagulante na fase líquida por meio de calha distribuidora, conforme apresentado na Figura 4. No entanto, o projeto original efetuado pela SEREC contemplou a aplicação de coagulante na parte final do canal de água bruta e considerou a adoção de mistura rápida mecanizada por meio de três equipamentos de agitação dispostos em série, conforme apresentado na Figura 5.



Figura 5 – Vista geral da unidade de mistura rápida concebida para a ETA Anhangabaú – Projeto SEREC

A unidade de mistura rápida concebida pela SEREC contempla três reatores de mistura completa em série, sendo que cada câmara possui dimensões iguais a 2,75 metros de largura, 2,75 metros de comprimento e altura de lâmina d'água igual a 2,0 metros. Desta forma, cada câmara de mistura rápida possui volume útil igual a $15,1 \text{ m}^3$ e volume total igual a $45,3 \text{ m}^3$. Em cada câmara de mistura rápida foram previstos a instalação de um agitador mecanizado do tipo turbina com potência individual igual a 10 CV, o que permite a obtenção de um gradiente de velocidade superior a 500 s^{-1} .

Após o processo de coagulação a água coagulada é enviada por meio de um canal de água coagulada a um canal que permite a divisão de vazões entre os diferentes conjuntos de floculador e decantador (módulo de tratamento) – Vide Figura 6.



Figura 6 – Vista geral do canal de água coagulada e sua distribuição entre as unidades de floculação e respectivos módulos de tratamento

A ETA Anhangabaú possui um total de quatro módulos de tratamento, sendo que cada módulo possui um conjunto interligado de unidade de floculação e decantador convencional de fluxo horizontal. Cada unidade de floculação possui um total de seis câmaras de floculação, sendo que as mesmas estão dispostas em duas linhas de três câmaras em série, conforme apresentado na Figura 7.

As câmaras de floculação 1A, 1B e 2B possuem dimensões unitárias iguais a 5,71 metros de largura por 5,84 metros de comprimento e lâmina líquida igual a 3,8 metros. Por sua vez, as câmaras de floculação 2A, 3A e 3B possuem dimensões unitárias iguais a 5,71 metros de largura por 5,4 metros de comprimento e lâmina líquida igual a 3,8 metros. A Figura 8 apresenta uma vista geral de uma unidade de floculação típica em operação na ETA Anhangabaú.

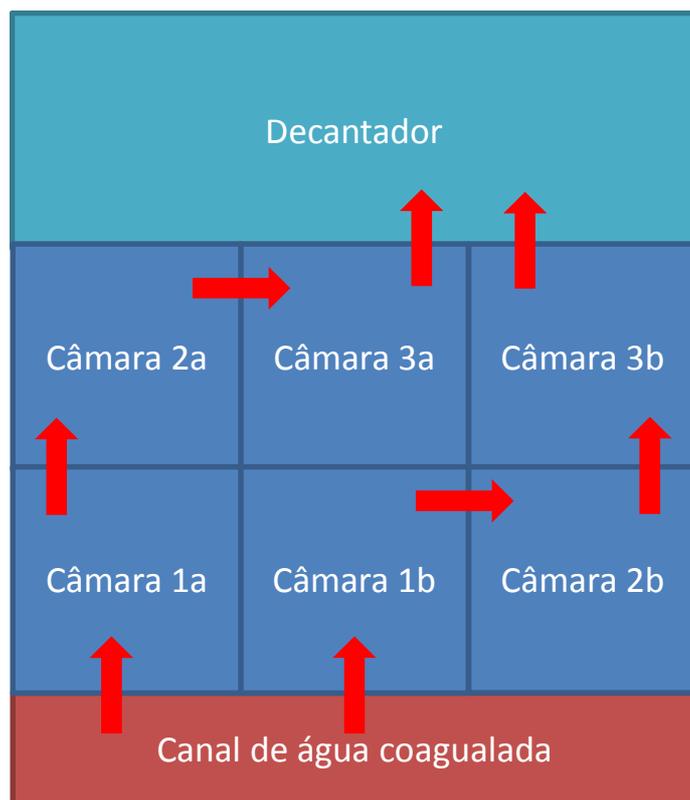


Figura 7 – Esquema hidráulico operacional das câmaras de floculação em operação na ETA Anhangabaú



Figura 8 – Vista geral de uma unidade de floculação típica em operação na ETA Anhangabaú

Uma vez flocculada, a água é enviada ao sistema de sedimentação, sendo que a ETA Anhangabaú é dotada de um total de quatro decantadores convencionais de fluxo horizontal (Figura 9) tendo por dimensões básicas 17,5 metros de largura por 40,9 metros de comprimento e 4,0 metros de altura, perfazendo um volume unitário igual a 2.863 m³. Os decantadores são esgotados em regime de batelada, isto é, após um período de tempo em operação (cerca de 30 a 40 dias), o mesmo é esgotado e o lodo encaminhado para um tanque de equalização para posterior envio via rede coletora de esgotos sanitários até a estação de tratamento de esgotos.



Figura 9 – Vista geral dos decantadores da ETA Anhangabaú - Decantadores convencionais de fluxo horizontal

A água decantada de cada decantador é coletada em sua parte final por meio de calhas de coleta de água decantada e enviada a um canal comum de água decantada para posterior distribuição ao sistema de filtração. Cada decantador possui um total de 4 calhas de coleta de água decantada, apresentando cada uma um comprimento individual igual a 25,0 metros, 0,7 metros de largura e 0,3 metros de altura útil total.

A água decantada produzida por todos os decantadores é enviada a um canal comum de água decantada e posteriormente conduzida às

unidades de filtração. A ETA Anhangabaú possui um total de 8 unidades de filtração, sendo estes filtros rápidos por gravidade de fluxo descendente do tipo dupla camada de areia e antracito, operando hidraulicamente como taxa declinante. Cada unidade de filtração possui uma área útil de filtração igual a $81,3 \text{ m}^2$, o que totaliza uma área total de filtração igual a $650,3 \text{ m}^2$.

A Figura 10 apresenta uma vista geral das unidades de filtração implantadas na ETA Anhangabaú.



Figura 10 – Vista geral das unidades de filtração implantadas na ETA Anhangabaú – Filtros rápidos por gravidade

A água filtrada produzida pelas unidades de filtração da ETA Anhangabaú são encaminhada por gravidade para o tanque de contato, sendo este encaminhamento efetuado de forma independente por cada dois conjuntos de filtros rápidos. Imediatamente na entrada do tanque de contato, é efetuada a aplicação de cal hidratada como agente pós-alcalinizante, flúor na forma de ácido fluossilícico e cloro como agente desinfetante.

3. AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS UNITÁRIOS DA ETA ANHANGABAÚ E VAZÕES MÁXIMAS DE TRATAMENTO

3.1 ESTABELECIMENTO DAS VAZÕES DE TRATAMENTO

Uma vez tendo-se apresentado a ETA Anhangabaú, pode-se efetuar uma macro avaliação dos seus respectivos processos unitários considerando diferentes condições de vazões afluentes, a saber:

- **Condição 1:** A condição 1 deverá ser assumida como sendo aquela no qual a vazão afluente a ETA Anhangabaú seja igual a $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$, o que caracteriza a sua condição atual de operação.
- **Condição 2:** A condição 2 será assumida como sendo a vazão de projeto da ETA Anhangabaú para as suas condições atuais de projeto, ou seja, igual a $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$.
- **Condição 3:** A condição 3 deverá considerar a vazão máxima afluente a ETA Anhangabaú de modo que não haja sobrecarga na mesma, sempre enfocando-se uma avaliação de seus processos unitários de forma conjunta. Esta vazão deverá ser definida a seguir.

A Tabela 1 apresenta as diferentes vazões a serem consideradas para a análise de ambas as ETAs para as Condições 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Vazões a serem consideradas para a análise da ETA Anhangabaú operando sob diferentes condições operacionais

Condição	Vazões (m ³ /s)
	ETA Anhangabaú
1	1,85
2	2,00
3	A definir

É importante salientar que, neste momento, não deverão ser efetuados comentários acerca de aspectos hidráulicos específicos no que diz respeito ao perfil hidráulico da ETA Anhangabaú, tampouco deverão ser analisados as peculiaridades hidráulicas concernentes a avaliação de seus processos unitários. Por hora, deverá ser analisado tão somente o impacto do aumento de vazão em seus processos unitários principais e, conseqüentemente, estabelecidas as diretrizes para análises mais aprofundadas que deverão ser levada a cabo adiante.

3.2 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO

A ETA Anhangabaú possui quatro unidades de floculação, sendo que cada uma delas possui um total de seis câmaras de floculação que operam como duas linhas de flocladores em paralelo e dotado de três câmaras em série, conforme esquema apresentado na Figura 11. Cada unidade de floculação é contígua à unidade de sedimentação, isto é, ambas as unidades estão associadas em série e constituem em um módulo de tratamento.

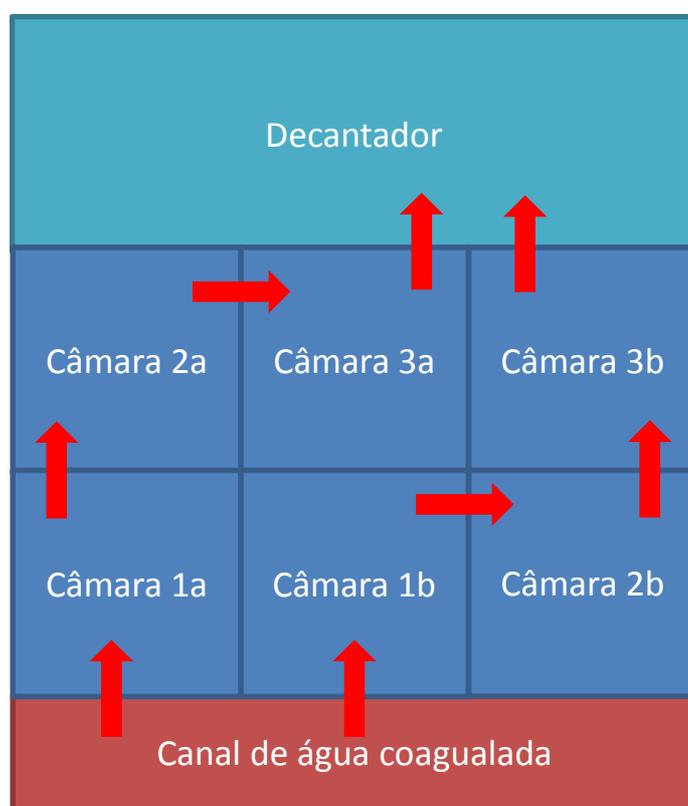


Figura 11 – Esquema hidráulico operacional dos flocladores em operação na ETA Anhangabaú

As câmaras de floculação 1A, 1B e 2B possuem dimensões unitárias iguais a 5,71 metros de largura por 5,84 metros de comprimento e lâmina líquida igual a 3,8 metros. Por sua vez, as câmaras de floculação 2A, 3A e 3B possuem dimensões unitárias iguais a 5,71 metros de largura por 5,4 metros de comprimento e lâmina líquida igual a 3,8 metros.

Portanto, a linha de floculação composta pelas câmaras 1A-2A-3A possui um volume total igual a 361,1 m³, ao passo que a linha de floculação composta pelas câmaras 1B-2B-3B apresenta volume total igual a 370,6 m³.

Com base nas vazões afluentes a cada unidade de floculação e assumindo uma distribuição equitativa de vazões entre ambas linhas de floculação, pode-se estimar os seus tempos de detenção hidráulico, sendo que os mesmos encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de detenção hidráulico calculado para as unidades de floculação da ETA Anhangabaú operando sob diferentes condições de vazão afluente

Condição	Vazões (m ³ /s)	Tempos de detenção (minutos)	
	ETA Anhangabaú	Floculadores 1A-2A-3A	Floculadores 1B-2B-3B
1	1,85	26,0	26,7
2	2,00	24,1	24,7
3	2,40	20,0	20,5

Observando-se os valores de tempos de detenção hidráulicos calculados para ambas as linhas de floculação, podem ser efetuadas as seguintes avaliações, a saber:

- Considerando-se somente o processo de floculação, pode-se concluir que a operação da ETA Anhangabaú com vazões superiores a 2,0 m³/s deverá ocasionar uma diminuição do seu tempo de detenção hidráulico e, assumindo que um valor crítico para uma operação adequada do processo de floculação em torno de 20 minutos, tem-se que a vazão limite em cada módulo de tratamento deverá ser igual a 0,6 m³/s e, portanto, uma vazão total igual a 2,4 m³/s. Desta forma, analisando-se tão somente o seu processo de floculação, pode-se limitar a sua vazão em valores não superiores a 2,4 m³/s.
- Em princípio, poderia ser possível aumentar a vazão afluente a ETA Anhangabaú para valores superiores a 2,0 m³/s, no entanto, esta

possibilidade apenas poderá ser considerada viável caso os demais processos unitários de jusante apresentem compatibilidade hidráulica entre si, o que deverá ser analisado adiante.

3.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO

A ETA Anhangabaú possui quatro unidades de sedimentação, sendo que cada uma delas contígua ao seu respectivo floculador, conforme já apresentado na Figura 9. Cada unidade de sedimentação possui como dimensões básicas 17,5 metros de largura por 40,9 metros de comprimento, o que totaliza uma área de sedimentação útil igual a 715,7 m².

Da mesma forma que para as unidades de floculação, foram estimadas as taxas de escoamento superficial para os decantadores da ETA Anhangabaú para as diferentes vazões afluentes consideradas, estando os seus valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Taxas de escoamento superficial calculado para as unidades de sedimentação da ETA Anhangabaú operando sob diferentes condições de vazão afluente

Condição	Vazões (m ³ /s)	Taxas de escoamento superficial (m ³ /m ² /dia)
	ETA Anhangabaú	
1	1,85	55,8
2	2,00	60,4
3	2,40	72,4

Uma análise preliminar dos valores de taxas de escoamento superficial apresentados na Tabela 3 permite concluir que:

- A operação da ETA Anhangabaú com uma vazão afluente igual a 2,0 m³/s deverá exigir que os decantadores existentes trabalhem com uma taxa de escoamento superficial próximo de

60 m³/m²/dia, valor este relativamente alto para decantadores convencionais de fluxo horizontal.

- Pelo fato dos decantadores existentes serem do tipo convencionais de fluxo horizontal, os mesmos suportam taxas de escoamento superficial de até 60 m³/m²/dia caso as condições de pré-tratamento sejam adequadas. Partindo deste pressuposto, a ETA Anhangabaú pode ser operada com uma vazão máxima afluyente igual a 2,0 m³/s, sem que sejam esperados prejuízos ao processo de tratamento e considerando a possibilidade de emprego de polímeros como auxiliares de floculação.
- A operação da ETA Anhangabaú com vazões superiores a 2,0 m³/s deverá acarretar uma sobrecarga nas unidades de sedimentação que não deverão ser absorvidas pelas unidades existentes. Desta forma, considerando a inexistência de área disponível para a implantação de uma quinta unidade de sedimentação, torna-se imperativo a modificação dos decantadores existentes de convencionais de fluxo horizontal para decantadores laminares.

Uma vez transformados em decantadores laminares e assumindo que a área coberta pelos módulos de sedimentação laminar ocupe a área abaixo das calhas de coleta de água decantada, tem-se uma área de sedimentação disponível igual a 437,5 m² por decantador. Por serem decantadores laminares, os mesmos podem ser operados com valores de taxa de escoamento superficial virtual em torno de 150 m³/m²/dia, também ressaltando-se a necessidade de que todas as condições de pré-tratamento sejam adequadas. Portanto, a vazão máxima admissível em cada unidade de sedimentação deverá ser igual a:

$$Q_d = q.A = \frac{150 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{dia} \cdot 437,5 \text{ m}^2}{86.400} \cong 0,76 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Portanto, tem-se que, uma vez modificados para decantadores laminares, a vazão máxima admissível em cada unidade deverá ser igual a 0,76 m³/s e, deste modo, a vazão máxima afluyente a ETA Anhangabaú limitada a 3,0 m³/s.

3.4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

A ETA Anhangabaú foi concebida com um total de 8 unidades de filtração do tipo dupla camada areia e antracito, operando hidraulicamente como taxa de filtração declinante. Cada unidade de filtração possui uma área útil individual de filtração igual a 81,3 m² e, por serem um total de 8 unidades, tem-se uma área de filtração total igual a 650,3 m².

Efetuando-se a mesma análise ora considerada para o sistema de floculação e sedimentação, pode-se efetuar o cálculo das taxas de filtração para as unidades de filtração, considerando os diferentes cenários de vazão afluyente. Os resultados calculados encontram-se apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Taxas de filtração calculadas para as unidades de filtração da ETA Anhangabaú operando sob diferentes condições de vazão afluyente

Condição	Vazões (m ³ /s)	Taxas de filtração (m ³ /m ² /dia) 8 unidades em operação	Taxas de filtração (m ³ /m ² /dia) 7 unidades em operação
	ETA Anhangabaú		
1	1,85	245,8	280,9
2	2,00	265,7	303,7
3	2,40	318,9	364,4

Com base nos valores de taxas de filtração calculados, podem ser observados os seguintes pontos principais:

- Normalmente, filtros do tipo dupla camada areia e antracito podem ser operados com taxas de filtração máxima superiores de até $360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, mais uma vez ressaltando-se a necessidade de que a qualidade da água decantada apresente valores de turbidez inferiores a 2,0 UNT durante a maior parte do tempo, de modo que a duração das carreiras de filtração não sejam inferiores a 24 horas.
- Para uma vazão afluyente máxima igual a $2,40 \text{ m}^3/\text{s}$, tem-se que a respectiva taxas de filtração deverá ser igual a $319 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ e $365 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ considerando 8 e 7 unidades de filtração em operação, respectivamente.
- Desta forma, pode-se concluir que a condição limite de operação da ETA Anhangabaú deverá ser tal que a sua vazão afluyente não seja superior a $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$, uma vez que, para valores de vazões maiores do que esta, o sistema de filtração atualmente implantado passará a trabalhar com taxas de filtração acima do limite máximo recomendável de $360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, considerando sempre uma unidade de filtração fora de operação.

3.5 COMPATIBILIDADE ENTRE OS PROCESSOS UNITÁRIOS DA ANHANGABAÚ E VAZÃO AFLUENTE

Com base na avaliação efetuada dos processos unitários da ETA Anhangabaú individualmente, pode-se elaborar um quadro resumos dos valores de vazões máximas admissíveis afluentes a cada processo unitário, tendo-se admitido os seguintes valores de projeto:

- Tempo de detenção hidráulico nas unidades de floculação: maior do que 20 minutos
- Taxa de escoamento superficial para decantadores convencionais: $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.
- Taxa de escoamento superficial para decantadores laminares: $150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.
- Taxa de filtração para filtros do tipo dupla camada areia e antracito: $360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

Portanto, com base nas características da ETA Anhangabaú, podem ser calculadas as vazões máximas admissíveis afluentes, estando os seus valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Vazões máximas admissíveis afluentes a cada processo unitário da ETA Anhangabaú

Processo unitário	Vazões afluentes máximas admissíveis (m^3/s)
	ETA Anhangabaú
Floculadores	2,4
Decantadores ¹	3,0
Filtros	2,4

¹ Considerando a transformação dos atuais decantadores convencionais para decantadores laminares

Os valores de vazões máximas admissíveis calculados e apresentados na Tabela 5 indicam que, para a ETA Anhangabaú, os processos unitários limitantes são ambos o processo de floculação ($2,4 \text{ m}^3/\text{s}$) e filtração ($2,4 \text{ m}^3/\text{s}$). Desta forma, toda a análise a ser efetuada posteriormente deverá partir do pressuposto de que a capacidade hidráulica máxima admissível da ETA Anhangabaú deverá ser de $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

VAZÕES ADMISSÍVEIS PARA ETA ANHANGABAÚ

- Vazão atual de operação: $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Vazão de projeto: $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Vazão máxima admissível: $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$
-

4. DEFINIÇÃO DO CONJUNTO DE MELHORIAS DA ETA ANHANGABAÚ E AVALIAÇÃO DE SEU PERFIL HIDRÁULICO

4.1 UNIDADE DE MISTURA RÁPIDA

A mistura rápida hoje operada na ETA Anhangabaú é efetuada por meio da aplicação do coagulante diretamente no canal de água bruta, conforme apresentado na Figura 12.



Figura 12 – Vista geral do canal de chegada de água bruta na ETA Anhangabaú e ponto de aplicação de coagulante

Conforme se pode observar na Figura 12, as condições de mistura do coagulante na fase líquida não são ideais, o que sugere a necessidade de proposição de um sistema mais eficiente. O projeto original de reforma da ETA Anhangabaú considerou que a mistura rápida deveria ser do tipo mecanizada em face de dificuldades hidráulicas em se impor uma perda de carga necessária para a implantação de mistura rápida do tipo hidráulica.

O sistema de mistura rápida implantada originalmente encontra-se atualmente desativado e, tendo em vista as suas características físicas e robustez, sugere-se que:

MODIFICAÇÃO 1

Sugere-se que a unidade de mistura rápida originalmente concebida para a ETA Anhangabaú seja novamente colocada em operação. Desta forma, faz-se necessária a troca dos equipamentos de agitação existentes por sistemas mais novos e a modificação do ponto de aplicação de coagulante.

Pode-se admitir um valor de gradiente de velocidade em cada câmara de mistura rápida igual a 500 s^{-1} , mantendo-se os valores originalmente concebidos no projeto. Como cada câmara de floculação possui volume unitário igual a

- Cálculo da potência do sistema de agitação

$$P_{\text{útil}} = \mu * V_f * G^2 = 1,053 * 10^{-3} * 15,1 * 500^2 \cong 3.982 \text{ W}$$

- Cálculo da rotação do sistema de agitação

Com base nas dimensões de cada câmara de mistura rápida, vamos admitir a implantação de sistemas de agitação do tipo turbina de fluxo radial com diâmetro do rotor mínimo igual a 0,5 metros.

Admitindo um valor de K_t igual a 5,0 (valor típico para sistemas de agitação do tipo turbina com eixo vertical e fluxo radial), têm-se os seguintes valores de rotação:

$$n_{\text{min}} = \left(\frac{P_{\text{útil}}}{K_t \cdot \rho \cdot D^5} \right)^{1/3} = \left(\frac{3.982}{5,0 \cdot 998,20 \cdot 0,5^5} \right)^{1/3} \cong 2,9 \text{ rps} \cong 177 \text{ rpm}$$

Logo, deverá ser adotado, um variador e redutor que permita que sejam atingidos para cada sistema de agitação valores de rotação situados entre 100 rpm e 200 rpm.

- Cálculo da potência do sistema de agitação

$$P_M = 2 \times P = 2 \times 3.982 = 7.964 \text{ W} \cong 10,8 \text{ cv}$$

Para uma eficiência de transferência de energia de 50% seria necessário motor de 8,0 Kw (10,8 cv). Será adotado motor de 10,0 cv, com velocidade variável com inversor de frequência.

- Características do agitador mecanizado a ser adquirido

Recomenda-se que as unidades de mistura rápida mecanizadas sejam dotadas de equipamentos tipo turbina de fluxo radial, potência do motor de 10 cv com inversor de frequência, diâmetro do rotor de 0,5 m, rotação de 100 rpm a 200 rpm, possibilitando gradientes de velocidade mínimos iguais a 500 s^{-1} em cada câmara de mistura rápida.

4.2 UNIDADES DE FLOCULAÇÃO

Especificamente para as unidades de floculação da ETA Anhangabaú, espera-se que, quando submetidas a vazões iguais a $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ por unidade, haja uma redução de seu tempo de detenção hidráulico (26 minutos para 20 minutos) e eventual redução na eficiência do processo de floculação.

Mais importante que a redução em seu tempo de detenção hidráulico, é a constatação que, para as atuais condições de operação dos decantadores da ETA Anhangabaú, observa-se uma significativa quebras dos flocos durante o seu percurso entre as unidades de floculação e entre as câmaras de floculação e sua distribuição nos decantadores.

A passagem entre as câmaras de floculação 1 para as câmaras 2 e 3 (Vide Figuras 13 a 16) ocorre por meio de passagens inferiores e superiores, sendo estas em número de três, apresentando cada uma dimensões unitárias indicadas na Figura 13.

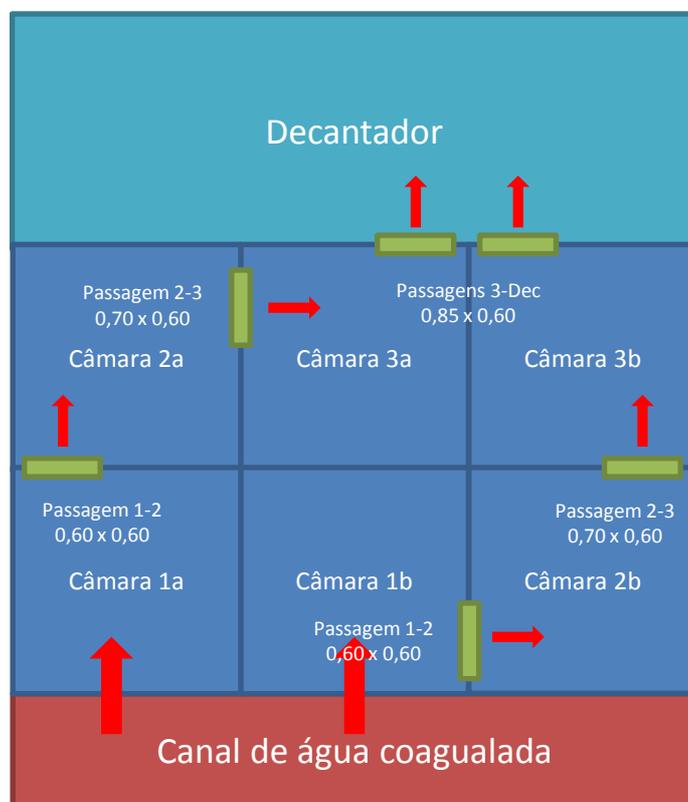


Figura 13 – Esquema hidráulico operacional dos flocoadores em operação na ETA Anhangabaú



Figura 14 – Vista das passagens inferiores entre as câmaras de floculação 1 e 2 nas unidades de floculação da ETA Anhangabaú



Figura 15 – Vista das passagens inferiores entre as câmaras de floculação 2 e 3 nas unidades de floculação da ETA Anhangabaú



Figura 16 – Vista das passagens inferiores entre as câmaras de floculação 3 e decantador nas unidades de floculação da ETA Anhangabaú

Deste modo, para as vazões de operação e futura iguais a $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$, as suas velocidades esperadas são iguais:

Passagem entre câmaras de floculação 1 e 2

$$v_i = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,5 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,0,6 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} \cong 0,69 \text{ m} / \text{s}$$

$$v_f = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,6 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,0,6 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} \cong 0,83 \text{ m} / \text{s}$$

Passagem entre câmaras de floculação 2 e 3

$$v_i = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,5 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,0,7 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} \cong 0,59 \text{ m} / \text{s}$$

$$v_f = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,6 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,0,7 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} \cong 0,71 \text{ m} / \text{s}$$

Passagem entre a câmara de floculação 3 e decantador

$$v_i = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,5 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,0,85 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} \cong 0,49 \text{ m} / \text{s}$$

$$v_f = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,6 \text{ m}^3 / \text{s}}{2,0,85 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} \cong 0,59 \text{ m} / \text{s}$$

Observa-se que, para ambas as vazões veiculadas (2,0 m³/s e 2,4 m³/s), a velocidade de passagem entre as câmaras de floculação é bastante elevada, o que faz com que haja uma elevada ocorrência de quebra dos flocos. Desta forma, com vista a possibilitar que este efeito seja reduzido, vamos propor o aumento da área de escoamento de modo que a velocidade de passagem resulte inferior a 0,1 m/s. Assim sendo, tem-se que:

$$A_f = \frac{Q_d}{v} = \frac{0,3 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,1 \text{ m} / \text{s}} \cong 3,0 \text{ m}^2$$

Desta forma, propõe-se que as passagens entre as câmaras de floculação 1 e 2 sejam aumentadas, prevendo-se um total de três passagens com dimensões iguais a 1,0 metros de largura e 1,0 metros de altura. Desta forma, tem-se que:

**Modificação sugerida para as passagens entre câmaras de
floculação 1 e 2**

$$v_i = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,5 \text{ m}^3 / \text{s}}{2.3.1,0 \text{ m}.1,0 \text{ m}} \cong 0,083 \text{ m/s}$$

$$v_f = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,6 \text{ m}^3 / \text{s}}{2.3.1,0 \text{ m}.1,0 \text{ m}} \cong 0,10 \text{ m/s}$$

Uma vez que as velocidades resultam inferiores a 0,1 m/s, pode-se considerar como plenamente adequado a proposta de aumento das atuais passagens de água floculada entre as câmaras de floculação 1 e 2 de 0,6 metros de altura e 0,6 metros de largura para três aberturas com 1,0 metros de altura por 1,0 metros de altura.

MODIFICAÇÃO 2

As dimensões das passagens de água floculada entre as câmaras de floculação 1 para as câmaras de floculação 2 deverão ser alteradas de forma que seja previsto a construção de três aberturas com dimensões iguais a 1,0 metros de altura para 1,0 metros de altura.

O mesmo comentário efetuado acerca das passagens de água floculada entre as câmaras de floculação 1 e 2 também vale para a passagem da água floculada para as câmaras 2 e 3 e das câmaras 3 para o canal de distribuição de água floculada aos decantadores.

Mais especificamente, observa-se que a distribuição da água floculada para os decantadores existentes é efetuado por meio de uma cortina dotada de 294 bocais com diâmetro igual a 125 mm, conforme apresentada na Figura 17.



Figura 17 – Estruturas de saída do canal de água floculada e passagem para os decantadores

Para a estrutura de distribuição de água floculada apresentada acima é possível efetuar o cálculo da velocidade de passagem e respectivo gradiente de velocidade de acordo com as seguintes expressões, estando os resultados apresentados nas Tabelas 6 e 7.

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

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

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

Tabela 6 – Gradientes de velocidade estimados para o sistema de distribuição de água floculada aos decantadores – Vazão unitária por decantador: 0,5 m³/s

Passagem	Descrição	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Gradiente de velocidade (s ⁻¹)
1	294 orifícios circulares com 0,125 m	1,70	0,139	17,4

Tabela 7 – Gradientes de velocidade estimados para o sistema de distribuição de água floculada aos decantadores – Vazão unitária por decantador: 0,6 m³/s

Passagem	Descrição	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Gradiente de velocidade (s ⁻¹)
1	294 orifícios circulares com 0,125 m	2,04	0,166	22,4

Ainda que alguns gradientes de velocidades calculados e apresentados nas Tabelas 6 e 7 sejam inferiores a 30 s⁻¹, tem-se que as velocidades nas passagens são bastante elevadas, resultando superior a 0,15 m/s, o que é bastante elevado e que oferece condições para a ruptura dos flocos previamente formados no processo de floculação.

Atualmente, tem-se observado que estruturas de distribuição de água floculada a decantadores compostos por orifícios ou bocais são bastante deficientes, uma vez que as mesmas tem ocasionado uma significativa ruptura dos flocos formados, conforme se observa na Figura 18.



Figura 18 – Ruptura de flocos formados durante o processo de floculação quando da passagem por estruturas de distribuição compostas por orifícios ou bocais – ETA 2 SANASA

Atualmente, a passagem da água floculada aos decantadores é efetuada por meio de um total de 294 orifícios implantados em 6 painéis com dimensões unitárias iguais a 2,78 metros de largura por 2,40 metros de altura (Vide Figura 19).

Desta forma, sugere-se uma reforma das atuais estruturas de distribuição de água floculada aos decantadores da ETA Anhangabaú, prevendo-se a eliminação da estrutura que contém os 294 orifícios circulares e reformando-se a cortina de distribuição de modo que a mesma tenha a seguinte configuração apresentada na Figura 20.

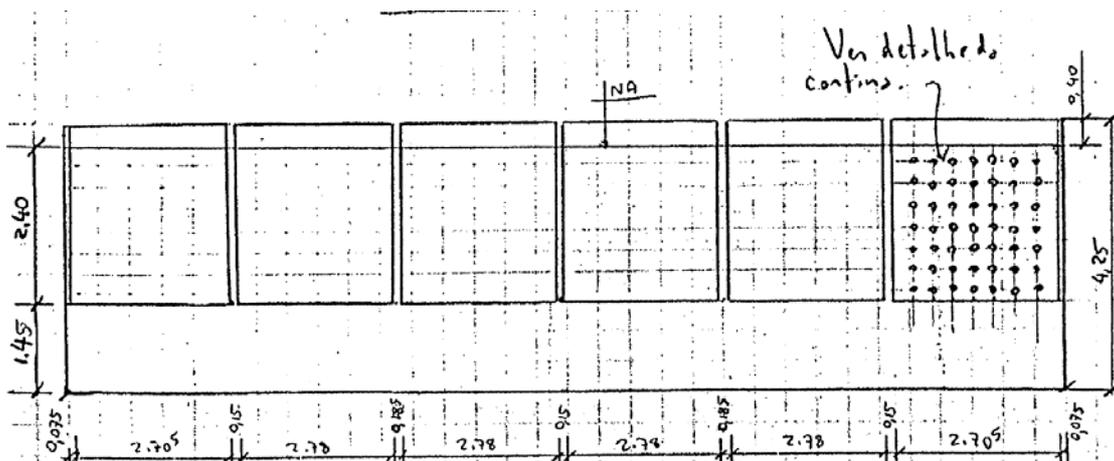


Figura 19 – Conjunto de painéis dotados de orifícios para a distribuição da água floculada aos decantadores da ETA Anhangabaú

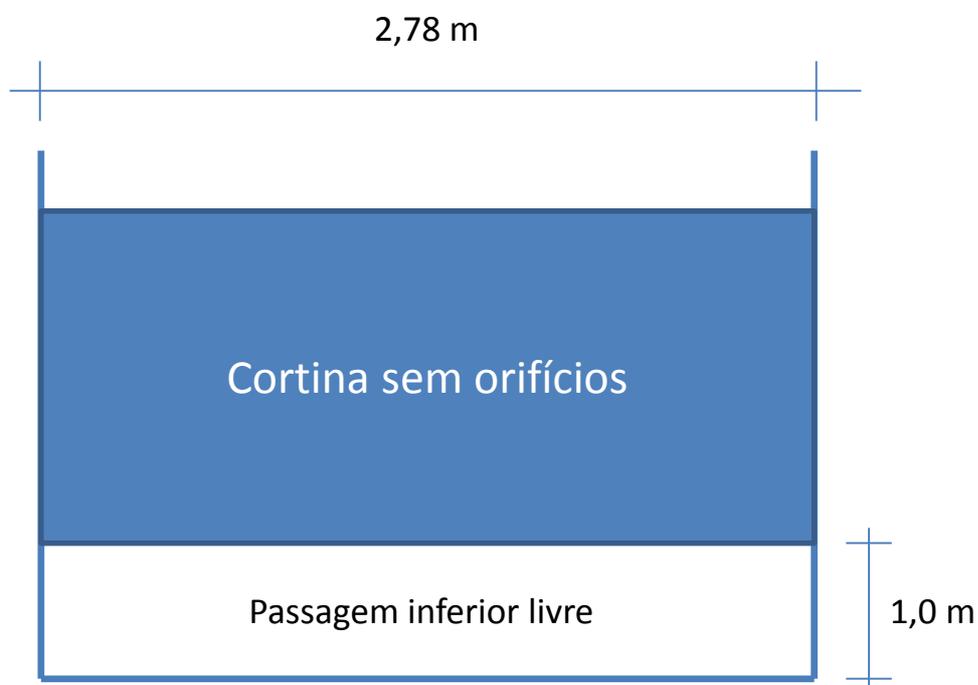


Figura 20 – Concepção proposta para a passagem de água floculada para os decantadores da ETA Anhangabaú

Desta forma, a passagem da água floculada e sua distribuição para a sua respectiva unidade de sedimentação deverá ser efetuada por meio de uma passagem única submersa e inferior em cada painel instalado com dimensão igual a 2,78 metros de largura e 1,0 metros de altura, o que totaliza uma área de passagem por placa e por decantador igual a $2,78 \text{ m}^2$ e $16,68 \text{ m}^2$ e, desta forma, tem-se que sua velocidade deverá ser igual a:

$$v_i = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,5 \text{ m}^3 / \text{s}}{16,68 \text{ m}^2} \cong 0,030 \text{ m} / \text{s}$$

$$v_f = \frac{Q_d}{A_f} = \frac{0,6 \text{ m}^3 / \text{s}}{16,68 \text{ m}^2} \cong 0,036 \text{ m} / \text{s}$$

MODIFICAÇÃO 3

A distribuição da água floculada aos decantadores deverá ser alterada prevendo-se a desativação da atual cortina de distribuição dotada de orifícios e prevendo-se uma passagem inferior única por placa com dimensões iguais a 2,78 metros de largura e 1,0 metros de altura.

Com a eliminação dos orifícios de distribuição de água floculada aos decantadores, vamos também sugerir uma redistribuição de todas as passagens de água floculada entre as câmaras de floculação, bem como a sua distribuição ao canal geral de passagem de água floculada aos decantadores.

Com a finalidade de permitir a integridade dos flocos formados, vamos aumentar as passagens entre todas as câmaras de floculação de modo que as velocidades entre as mesmas resultem inferior a 0,1 m/s. Desta forma, propõe-se o seguinte esquema de passagens entre câmaras de floculação apresentado na Figura 21.

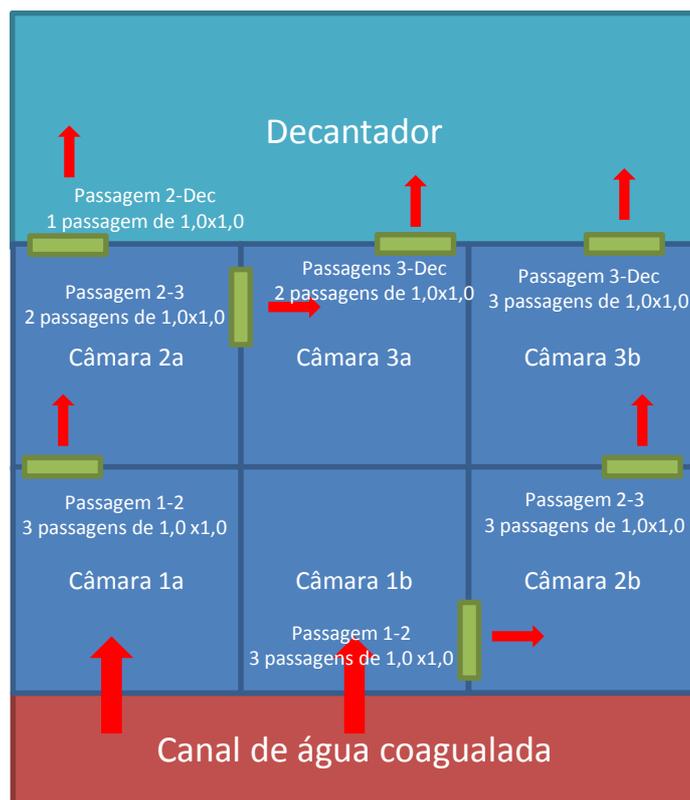


Figura 21 – Esquema hidráulico operacional proposto para a passagem de água floculada entre as câmaras de floculação em operação na ETA Anhangabaú

Com estas modificações, espera-se que sejam minimizadas todas as ocorrências e pontos em que podem ser observadas rupturas dos flocos formados durante o processo de floculação.

MODIFICAÇÃO 4

As dimensões das passagens de água floculada entre as câmaras de floculação bem como para o canal de distribuição de água para os decantadores deverão ser alteradas conforme esquema apresentado na Figura 21.

Uma vez efetuadas estas modificações, se pode também eliminar a estrutura difusora instalada no canal de distribuição de água floculada aos decantadores, conforme apresentado na Figura 22.

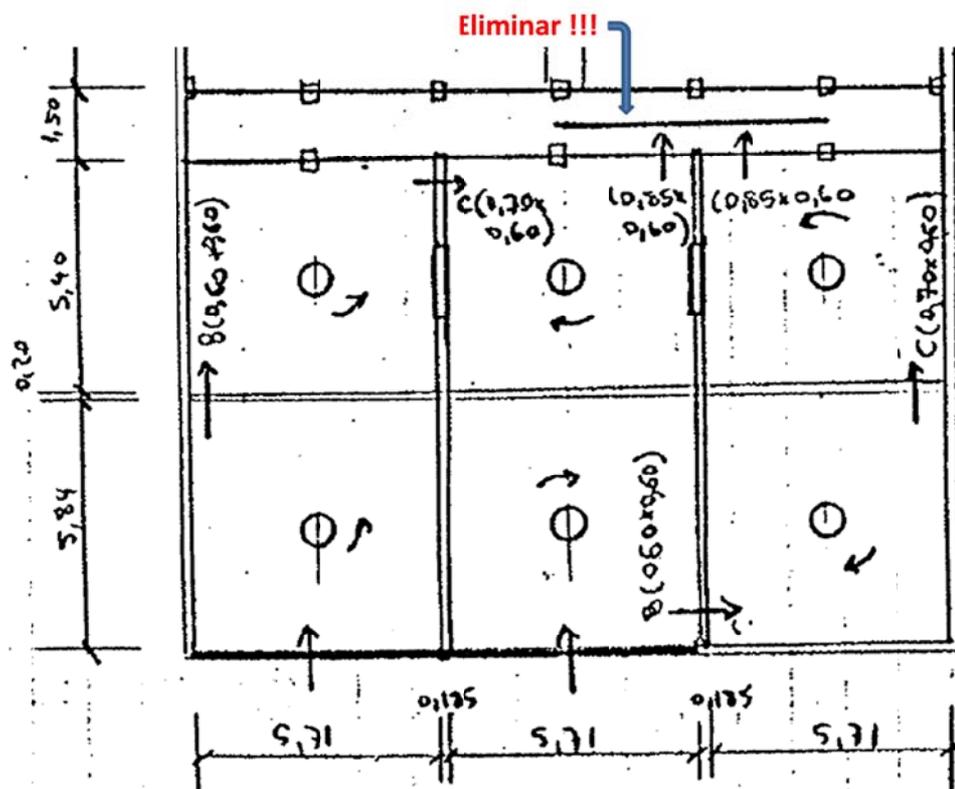


Figura 22 – Eliminação da estrutura difusora instalada no canal de distribuição de água floculada aos decantadores

MODIFICAÇÃO 5

Eliminação da estrutura difusora atualmente instalada no canal de distribuição de água floculada aos decantadores conforme esquema apresentado na Figura 22.

O diâmetro do rotor dos equipamentos de agitação atualmente instalados nos floculadores da ETA Anhangabaú são bastante reduzidos quando comparado com as dimensões de cada câmara de floculação, o que faz com que haja a ocorrência de zonas mortas no interior da unidade e deposição de parte dos sólidos formados durante o processo de floculação (Vide Figura 23).



Figura 23 – Vista geral dos equipamentos de agitação atualmente instalados nas unidades de floculação da ETA Anhangabaú

Portanto, sugere-se que os equipamentos de agitação sejam trocados, sugerindo-se que o seu diâmetro seja, no mínimo, 40% da dimensão de sua largura. Como cada câmara de floculação possui dimensões iguais a 5,4 metros (menor dimensão) e 3,8 metros de altura, recomenda-se que seja adotado um diâmetro mínimo igual a 2,0 metros.

Cada câmara de floculação deverá ser provida de agitadores mecânicos do tipo turbina de fluxo axial 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. Deverão ser adotados equipamentos de agitação com diâmetro de rotor igual a 2,0 m, distando 1,5 metros a partir do fundo do floculador.

- Cálculo da potência do sistema de agitação

$$P_{\text{útil}} = \mu * V_f * G^2 = 1,053 * 10^{-3} * 122,0 * 80^2 \cong 822 \text{ W}$$

$$P_{\text{útil}} = \mu * V_f * G^2 = 1,053 * 10^{-3} * 122,0 * 20^2 \cong 52 \text{ W}$$

- 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:

$$n_{\text{máx}} = \left(\frac{P_{\text{útil}}}{K_t \cdot \rho \cdot D^5} \right)^{1/3} = \left(\frac{822}{1,3 \cdot 998,2 \cdot 2,0^5} \right)^{1/3} \cong 0,27 \text{ rps} = 16 \text{ rpm}$$

$$n_{\text{mín}} = \left(\frac{P_{\text{útil}}}{K_t \cdot \rho \cdot D^5} \right)^{1/3} = \left(\frac{52}{1,3 \cdot 998,2 \cdot 2,0^5} \right)^{1/3} \cong 0,11 \text{ rps} = 6 \text{ rpm}$$

Será adotado, um variador e redutor que permita que sejam atingidos para cada sistema de agitação valores de rotação situados entre 6 rpm e 16 rpm.

- Cálculo da potência do sistema de agitação

$$P_M = 2 \times P = 2 \times 822 = 1.644 \text{ W} \cong 2,2 \text{ cv}$$

Para uma eficiência de transferência de energia de 50% seria necessário motor de 1,7 Kw (2,2 cv). Será adotado motor de 3,0 cv, com velocidade variável com inversor de frequência.

- Características do floclador mecanizado a ser adquirido

Recomenda-se que as unidades de floclação 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 2,0 m, rotação de 6 rpm a 16 rpm, possibilitando gradientes de velocidade de 20 a 80 s^{-1} em cada câmara de floclação.

MODIFICAÇÃO 6

Tendo por finalidade garantir uma melhor performance para o sistema de floclação atualmente em operação na ETA Anhangabaú, recomenda-se a troca de todos os equipamentos de agitação, garantindo-se que as novas unidades possuam diâmetro do rotor mínimo igual a 2,0 metros e sejam do tipo turbina de fluxo axial providos de estrutura anti-vórtice, possibilitando uma rotação mínima e máxima iguais a 6 rpm e 16 rpm, respectivamente.

4.3 UNIDADES DE SEDIMENTAÇÃO

A ETA Anhangabaú possui quatro unidades de sedimentação, sendo que cada uma delas contígua ao seu respectivo floculador, conforme já apresentado anteriormente. Cada unidade de sedimentação possui como dimensões básicas 17,5 metros de largura por 40,9 metros de comprimento, o que totaliza uma área de sedimentação útil igual a 715,7 m².

Conforme já discutido anteriormente, a operação da ETA Anhangabaú com uma vazão afluente igual a 2,0 m³/s deverá exigir que os decantadores existentes trabalhem com uma taxa de escoamento superficial próximo de 60 m³/m²/dia, valor este relativamente alto para decantadores convencionais de fluxo horizontal.

Pelo fato dos decantadores existentes serem do tipo convencionais de fluxo horizontal, os mesmos suportam taxas de escoamento superficial de até 60 m³/m²/dia caso as condições de pré-tratamento sejam adequadas. Partindo deste pressuposto, a ETA Anhangabaú pode ser operada com uma vazão máxima afluente igual a 2,0 m³/s, sem que sejam esperados prejuízos ao processo de tratamento e considerando a possibilidade de emprego de polímeros como auxiliares de floculação.

Considerando que a vazão máxima requerida para a ETA Anhangabaú deverá ser igual a 2,4 m³/s, esta deverá acarretar uma sobrecarga nas unidades de sedimentação que não deverão ser absorvidas pelas unidades existentes. Desta forma, considerando a inexistência de área disponível para a implantação de uma quinta unidade de sedimentação, torna-se imperativo a modificação dos decantadores existentes de convencionais de fluxo horizontal para decantadores laminares.

A condição ótima para a instalação dos módulos de sedimentação laminar é a área coberta pelas calhas de coleta de água decantada, uma vez que as mesmas são relativamente longas. Portanto, uma vez transformados em decantadores laminares e assumindo que a área coberta pelos módulos de sedimentação laminar ocupe a área abaixo das calhas de coleta de água decantada, tem-se uma área de sedimentação disponível igual a 437,5 m² por decantador.

Uma vez que a área coberta pelas calhas de coleta de água decantada possuem dimensões úteis iguais a 17,5 metros de largura por 25,0 metros de comprimento, podem ser estimadas as suas velocidades de sedimentação e entre as placas, a saber:

Para as vazões de projeto consideradas (0,5 m³/s e 0,6 m³/s por decantador laminar), podem ser calculadas as seguintes grandezas características de unidades de sedimentação laminar, a saber (Tabela 8):

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

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

Cenário	Vazão individual a cada decantador (l/s)	Grandeza l/w	Velocidade de escoamento entre as placas (cm/min)
1	500	24	9,9
2	600	24	11,9

As velocidades de escoamento entre os módulos de escoamento laminar são bastante adequadas e estão situadas abaixo de 15,0 cm/min. Considerando que os valores usualmente empregados em projeto de decantadores laminares são tais que resultam menores do que 20 cm/min, conclui-se que os decantadores laminares da ETA Anhangabaú deverão operar de forma adequada com uma vazão de alimentação em torno de 0,6 m³/s por decantador.

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 9):

Tabela 9 – Valores de velocidade crítica de sedimentação para a unidade de sedimentação operando com diferentes vazões afluentes

Cenário	Vazão individual a cada decantador (l/s)	Grandeza l/w	Velocidade de escoamento entre as placas (cm/min)	Velocidade crítica de sedimentação (cm/min)
1	500	24	9,9	0,77
2	600	24	11,9	0,93

Os valores de velocidade crítica de sedimentação estão situados entre 11,1 m/dia a 13,4 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 20 m/dia.

MODIFICAÇÃO 7

Os decantadores da ETA Anhangabaú deverão ser reformados, prevendo-se que sejam instalados módulos de sedimentação laminar na região abaixo das calhas de coleta de água decantada. Desta forma, os mesmos deverão ser transformados em decantadores híbridos, ou seja, parte trabalhando como decantadores convencionais de fluxo horizontal e parte como decantadores laminares.

4.4 UNIDADES DE FILTRAÇÃO

O sistema de filtração da ETA Anhangabaú é composto por oito unidades de filtração de fluxo descendente, do tipo dupla camada areia e antracito e que trabalham hidráulicamente como taxa de filtração declinante. Para as vazões consideradas para a ETA Anhangabaú iguais a 2,0 m³/s e 2,4 m³/s, tem-se que as taxas de filtração deverão ser iguais a 266 m³/m²/dia e 319 m³/m²/dia.

Com respeito às taxas de filtração, embora aparentemente mais elevada quando se considera uma vazão afluente a ETA Anhangabaú igual a 2,4 m³/s (319 m³/m²/dia), esta se encontra inferior ao valor considerado um limite superior para filtros de dupla camada areia e antracito (360 m³/m²/dia).

As Figuras 24 e 25 apresentam cortes das unidades de filtração implantadas na ETA Anhangabaú, mais especificamente, as tubulações de saída de água filtrada, posicionamento do vertedor de saída de água filtrada e cotas dos materiais filtrantes.

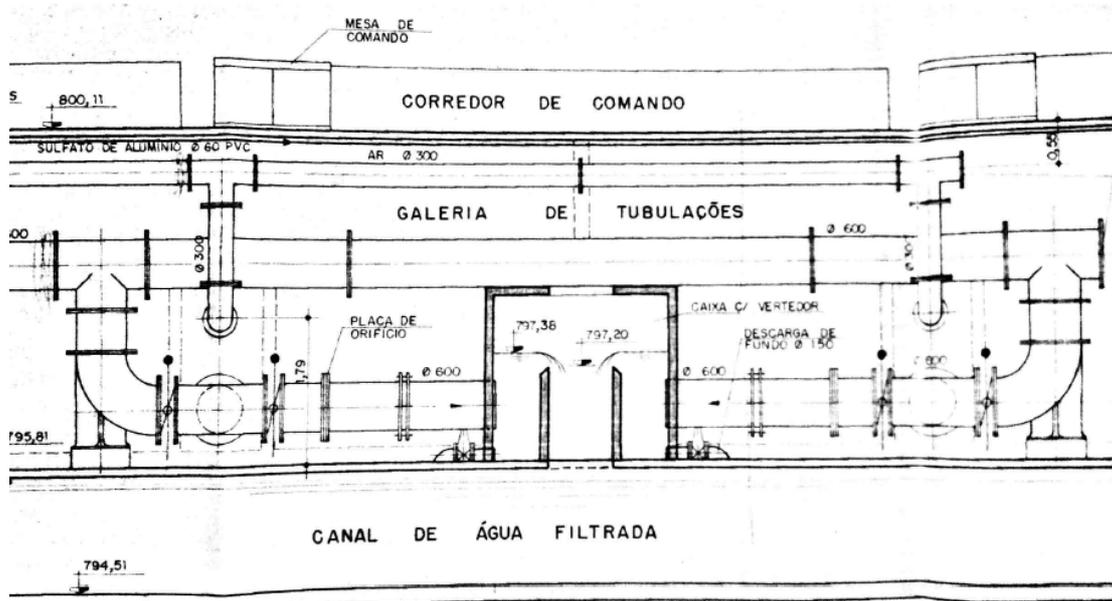


Figura 24 – Corte de uma unidade de filtração típica da ETA Anhangabaú

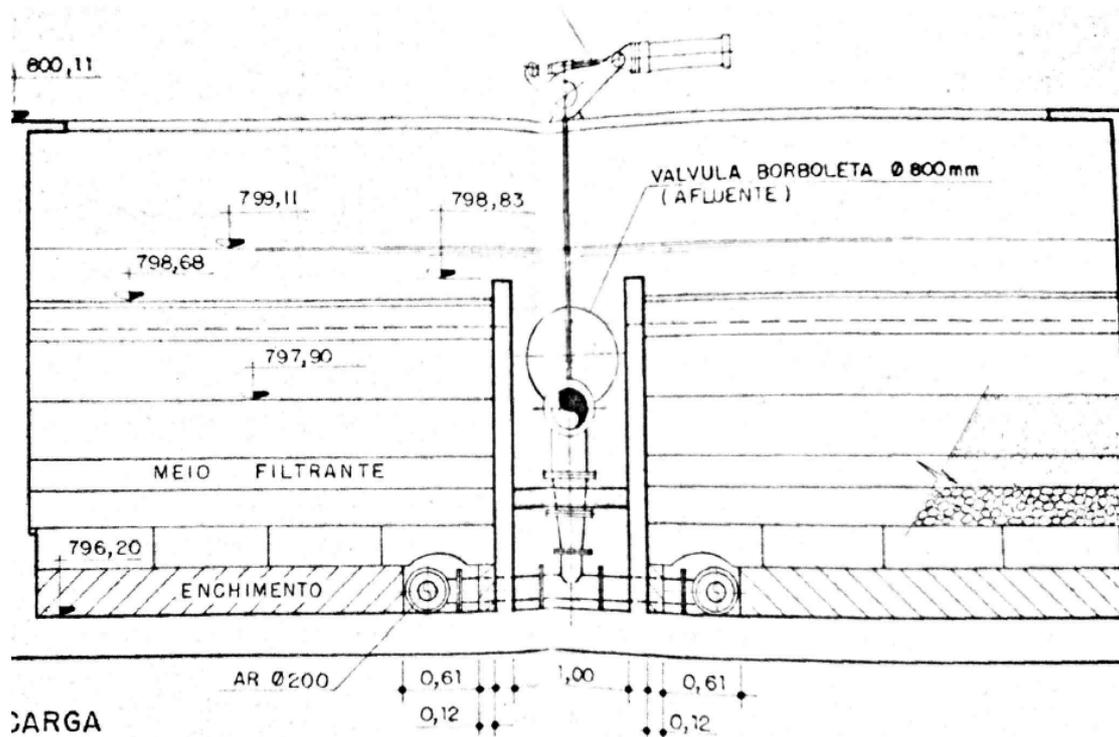


Figura 25 – Corte de uma unidade de filtração típica da ETA Anhangabaú

Conforme observado na Figura 24, na tubulação de saída de água filtrada (600 mm) a jusante da unidade de filtração foi prevista uma placa de orifício com vistas a controlar o nível d'água nas unidades de filtração.

De acordo com os cálculos apresentados pela SEREC, a perda de carga na placa de orifício foi estimada em aproximadamente 40 cm e, considerando que deverá ocorrer um aumento nas taxas de filtração com o aumento da vazão afluyente a ETA Anhangabaú de 2,0 m³/s para 2,4 m³/s, sugere-se a sua eliminação.

MODIFICAÇÃO 8

Os filtros atualmente em operação na ETA Anhangabaú são dotados de uma placa de orifício localizada diretamente na tubulação de saída de água filtrada. Tendo em vista reduzir a perda de carga nas estruturas de saída de água filtrada, recomenda-se a remoção da placa de orifício.

Uma vez garantida uma qualidade de água decantada com baixa concentração de partículas coloidais (turbidez), e isto pode ser atingido mediante um programa de readequação dos sistemas de floculação e sedimentação, pode-se garantir que os filtros da ETA Anhangabaú terão condições de operarem com taxas de filtração próximas de $360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

5. CONCLUSÕES

Com base na avaliação hidráulica e de processos unitários efetuados para a ETA Anhangabaú, pode-se afirmar ser possível o aumento de capacidade de produção de água dos atuais $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$ para $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. No entanto, de forma que seja possível garantir que este aumento de vazão não comprometa a qualidade da água tratada, algumas modificações e reformas terão que serem efetuadas, sendo estas:

- Sugere-se que a unidade de mistura rápida originalmente concebida para a ETA Anhangabaú seja novamente colocada em operação. Desta forma, faz-se necessária a troca dos equipamentos de agitação existentes por sistemas mais novos e a modificação do ponto de aplicação de coagulante.
- As dimensões das passagens de água floculada entre as câmaras de floculação 1 para as câmaras de floculação 2 deverão ser alteradas de forma que seja previsto a construção de três aberturas com dimensões iguais a 1,0 metros de altura para 1,0 metros de altura.
- A distribuição da água floculada aos decantadores deverá ser alterada prevendo-se a desativação da atual cortina de distribuição dotada de orifícios e prevendo-se uma passagem inferior única por placa com dimensões iguais a 2,78 metros de largura e 1,0 metros de altura.
- As dimensões das passagens de água floculada entre as câmaras de floculação bem como para o canal de distribuição de água para os decantadores deverão ser alteradas conforme esquema apresentado na Figura 21.

- Eliminação da estrutura difusora atualmente instalada no canal de distribuição de água floculada aos decantadores conforme esquema apresentado na Figura 22.
- Tendo por finalidade garantir uma melhor performance para o sistema de floculação atualmente em operação na ETA Anhangabaú, recomenda-se a troca de todos os equipamentos de agitação, garantindo-se que as novas unidades possuam diâmetro do rotor mínimo igual a 2,0 metros e sejam do tipo turbina de fluxo axial providos de estrutura anti-vórtice, possibilitando uma rotação mínima e máxima iguais a 6 rpm e 16 rpm, respectivamente.
- Os decantadores da ETA Anhangabaú deverão ser reformados, prevendo-se que sejam instalados módulos de sedimentação laminar na região abaixo das calhas de coleta de água decantada. Desta forma, os mesmos deverão ser transformados em decantadores híbridos, ou seja, parte trabalhando como decantadores convencionais de fluxo horizontal e parte como decantadores laminares.
- Os filtros atualmente em operação na ETA Anhangabaú são dotados de uma placa de orifício localizada diretamente na tubulação de saída de água filtrada. Tendo em vista reduzir a perda de carga nas estruturas de saída de água filtrada, recomenda-se a remoção da placa de orifício.